



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ TVRDÝCH MATERIÁLŮ

MACHINING OF HARD MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Pech

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Ondřej Pech**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Karel Osička, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Obrábění tvrdých materiálů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provedení detailního rozboru technologie obrábění tvrdých materiálů na dlouhotočných automatech se zaměřením na produktivitu práce a integritu obráběného povrchu.

Cíle bakalářské práce:

Úvod.
Rozbor používaných materiálů obrobků.
Technologické možnosti dlouhotočných automatů.
Rozbor stávající technologie.
Použité nástroje.
Hlavní problémy stávající technologie.
Návrh racionalizačních opatření.
Diskuze.
Závěr.

Seznam literatury:

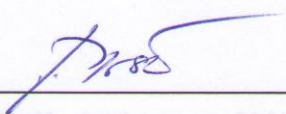
AB Sandvik Coromant - Sandvik CZ, s.r.o. (1997): Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Scientia, Praha.
Kocman, K. a Prokop, J. (2001): Technologie obrábění. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno.
Forejt, M. a Píška, M. (2006): Teorie obrábění, tváření a nástroje. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno.
Štulpa, M. (2008): CNC obráběcí stroje. BEN - technická literatura, Praha.

Humár, A. (2008): Materiály pro řezné nástroje. MM Publishing, Praha.


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 27. 11. 2015





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Cílem této práce je rozbor problematiky obrábění tvrdých materiálů na dlouhotočných soustružnických automatech ve firmě Decoleta, a.s. Formou rešerše jsou postupně provedeny rozbor použítvaných materiálů, možností dostupných obráběcích strojů a vhodných nástrojových materiálů. Dále je podrobně rozebrána stávající technologie výroby dvou různých dílců ze zušlechtěné oceli a následně jsou navrženy racionalizační opatření. Mezi tyto opatření patří především návrh nových nástrojů z CBN pro oba dílce, jenž nahradí stávající nástroje ze slinutého karbidu, ale také přepracování výrobní technologie pro součást Kolík na jiný vhodnější typ stroje, včetně nového CNC programu a kompletní výkresové dokumentace.

Klíčová slova

tvrdé materiály, zušlechtěná ocel, dlouhotočné soustružnické automaty, obráběcí nástroje

ABSTRACT

The objective of this paper is to analyse the issue of machining of hard materials on Swiss-type automatic lathes at Decoleta, a.s. In the form of research, analyses are being done of the materials used, possibilities of the available cutting tools and suitable tooling materials. The current technology used in the production of two different stainless steel elements is further being analysed in detail, including the subsequent suggestion of rationalisation actions. These actions include, mainly, the design of new tools from CBN for both elements, which shall replace the current tools made of sintered carbide, but also reworking of production technology for the Pin on another more suitable type of machine, including a new CNC program and complete drawings.

Key words

hard materials, hardened steel, swiss type automatic lathes, cutting tools

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PECH, Ondřej. *Obrábění tvrdých materiálů*. Brno 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 48s. 9 příloh. Vedoucí práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Obrábění tvrdých materiálů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Ondřej Pech

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji společnosti Decoleta, a.s. a jejím zaměstnancům za poskytnutí důležitých podkladů a informací. Také děkuji své rodině a přátelům za podporu při dosavadním studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD	8
1 ROZBOR POUŽÍVANÝCH MATERIÁLŮ	9
2 TECHNOLOGICKÉ MOŽNOSTI DLOUHOTOČNÝCH AUTOMATŮ	12
2.1 Charakteristika dlouhotočných automatů	12
2.2 Používané stroje.....	13
2.2.1 Možnosti dlouhotočných automatů výrobce Star Micronics	14
2.2.2 Možnosti dlouhotočných automatů výrobce Tajmac - ZPS, a.s.	15
3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY	17
3.1 Rozdělení nástrojových materiálů do aplikačních skupin dle ISO	17
3.2 Výběr nástrojových materiálů.....	17
3.2.1 Slinuté karbidy (SK)	18
3.2.2 Cermet.....	18
3.2.3 Řezná keramika.....	19
3.2.4 Kubický nitrid bóru (CBN, KNB, PKNB).....	20
4 KRITÉRIA OBROBITELNOSTI.....	21
4.1 Opotřebení bříty	21
4.2 Utváření třísky	22
5 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE	23
5.1 Kolík	23
5.2 Kulový čep	25
6 POUŽITÉ NÁSTROJE.....	29
6.1 Nástroje pro dílec Kolík.....	29
6.2 Nástroje pro dílec Kulový čep	30
7 HLAVNÍ PROBLÉMY STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE	32
8 NÁVRH RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ.....	38
9 DISKUZE	41
ZÁVĚRY	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	46
SEZNAM PŘÍLOH.....	48

ÚVOD

Tato bakalářská práce je vytvořena ve spolupráci se společností Decoleta, a.s. a je zaměřena především na obtížně obrobitelné tvrdé materiály, které jsou v této firmě obráběny. Jedná se zejména o nízkolegované oceli vhodné k zušlechťování obráběné v zušlechtěném stavu. Právě s problematikou obrábění zušlechtěných ocelí tu nejsou prakticky žádné zkušenosti.

Firma Decoleta, a.s. (viz obr. 1) vznikla v roce 2007 vyčleněním ze společnosti Tesla Jihlava s.r.o. Historie soustružení dílců ve společnosti Tesla sahá až do roku 1971, kde zpočátku soustružení probíhalo na vačkových a později na CNC dlouhotočných automatech. V současnosti ve firmě Decoleta, a.s. jsou již používány pouze CNC dlouhotočné automaty. Firma se zabývá výrobou přesných soustružených dílců ve velkých sériích z tyčí o průměru od 2 mm do 32 mm. Převážná část výroby je pro automobilový průmysl, elektroniku a letectví. Velikost sérií vyráběných dílců je od desítek tisíc až po milióny kusů za rok. [1]

Za tvrdé materiály jsou obecně považovány materiály obrobků s tvrdostí od 45 – 65 HRC. V dřívější době bylo možné tyto materiály obrábět pouze broušením nebo za použití extrémně nízkých řezných rychlostí. Avšak díky vývoji nových řezných materiálů je v dnešní době možné třískově obrábět i ty nejtvrdší materiály. Při obrábění tvrdých materiálů narážíme na celou řadu nepříznivých vlivů, a to především rychlé opotřebení břitu nástroje, či lom břitové destičky, vysoké teploty v oblasti řezání, špatná homogenita obráběného materiálu, vyšší a proměnná velikost řezné síly a také například nedostatečná stabilita. S těmito těžkostmi je třeba počítat při volbě vhodné geometrie a složení materiálu řezného nástroje. [2]



Obr. 1 Firma Decoleta, a.s. [1].

1 ROZBOR POUŽÍVANÝCH MATERIÁLŮ

Tvrdé materiály obráběné ve firmě Decoleta, a.s. jsou nízkolegované oceli k zušlechtnění, které jsou obráběny v zušlechtněném stavu. Tyto oceli dosahují tvrdosti přibližně 50 HRC, díky čemuž spadají do kategorie tvrdých materiálů. [3]

Nízkolegované oceli k zušlechťování

Jsou to konstrukční oceli třídy 13 až 16 s odstupňovaným obsahem uhlíku. V tab. 1 jsou uvedeny jednotlivé třídy ocelí k zušlechtnění a jejich legující prvky. Tyto oceli jsou určeny k výrobě součástí, které se tepelně zpracovávají zušlechťováním, ale mohou být používány i ve stavu normalizovaném. Ocel musí být uklidněná a pokud možno ve stavu tepelně nezpracovaném. Je obrobitelná ve stavu vyžíhaném na měkko. Pro lepší obrobitelnost se doporučují oceli se stanoveným rozmezím pro obsah síry. [3, 4]

Tab. 1 Třídy nízkolegovaných ocelí k zušlechtnění [3].

Třída oceli dle ČSN	Druhy nízkolegovaných ocelí z hlediska legujících prvků
13	Manganové, mangan-vanadové, křemíkové, mangan-křemíkové
14	Chromové, chrom-manganové, chrom-křemíkové, chrom-mangan-křemíkové
15	Chrom-molybdenové, chrom-vanadové, chrom-molybden-vanadové
16	Niklové, chrom-niklové, chrom-nikl-molybdenové, chrom-nikl-vanadové

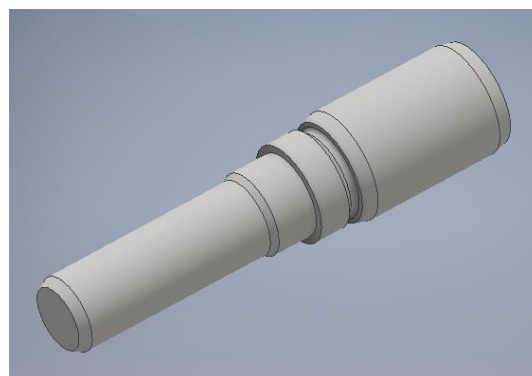
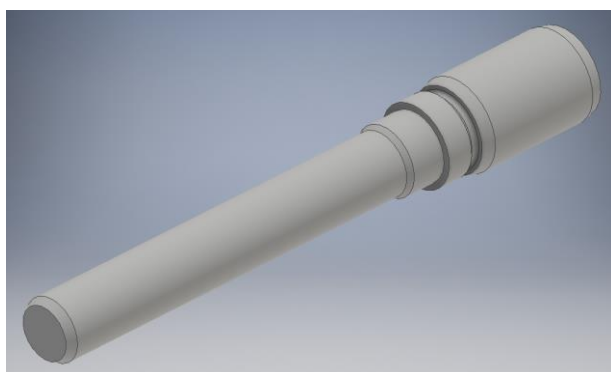
Oceli k zušlechťování obráběné ve společnosti Decoleta, a.s.:

Jedná se o dva typy chrom-molybdenové oceli. Molybden zvyšuje prokalitelnost a snižuje sklon k popouštěcí křehkosti, proto jsou tyto oceli vhodné především pro součásti s velkou tloušťkou stěny. Následující značení používaných ocelí je dle ČSN EN. [3]

1.7220 (34CrMo4) Cr-Mo ocel k zušlechťování

Ocel se střední prokalitelností. Prokalitelnost Jominy 1 mm od čela je 49 – 57 HRC. Obrábění je doporučováno ve stavu žíhaném na měkko, kdy má ocel tvrdost 223 HB. Při nižších hodnotách pevnosti lze obrábět i v zušlechtněném stavu. Ocel je využívána v automobilovém a leteckém průmyslu k výrobě strojních součástí s vysokou houževnatostí, např. klikové hřídele, osy, pastorkové hřídele a bandáže. [5]

Používané tyče jsou délky 3000 mm a průměru 12,7 mm v přesnosti h9. Obráběný materiál je v zušlechtněném stavu (1.7220 + QT). Vyráběné dílce jsou kolíky používané v leteckém průmyslu, jejich model vytvořený ve studentské verzi softwaru Autodesk Inventor Professional 2016 je na obr. 2. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 2 a tab. 3.



Obr. 2 Součást vyráběná ze zušlechtěného materiálu 1.7220.

Tab. 2 Chemické složení oceli 1.7220 [hm. %] [5].

C	Si	Mn	P
0,30 – 0,37	Max 0,4	0,6 – 0,9	Max 0,035
S	Cr	Mo	
Max 0,035	0,9 – 1,2	0,15 – 0,3	

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli 1.7220 [5].

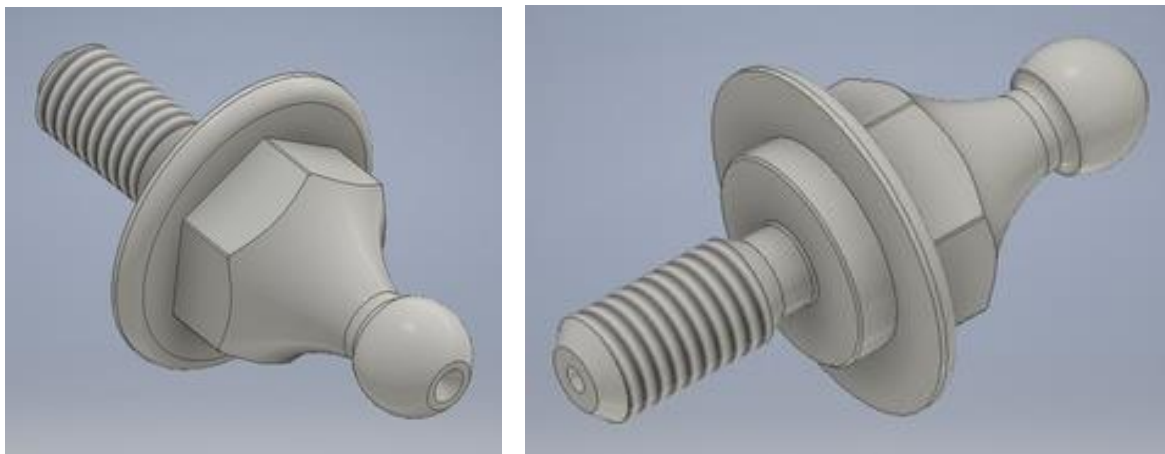
Polotovar	Rozměr d [mm]	Stav	Mez kluzu Re [MPa]
Tyče, dráty	≤16	Zušlechtěný	800
Mez pevnosti R _m [MPa]	Tažnost A ₅ [%] min	Kontrakce Z [%] min	Nárazová práce KV [J] min
1000 - 1200	11	45	30

1.7225 (42CrMo4) Cr-Mo ocel k zušlechtování

Ocel s vyšší prokalitelností. Prokalitelnost Jominy 1,5 mm od čela je 53 – 61 HRC, prokalení průměru 28 mm je minimálně 48 HRC. Obrábění je doporučováno ve stavu žíhaném na měkko, kdy má ocel tvrdost 241 HB. Při nižších hodnotách pevnosti lze obrábět i v zušlechtěném stavu. Ocel je používána pro výrobu částí s vysokou houževnatostí v automobilovém průmyslu a letectví, jako hřídele, klikové hřídele, pastorkové hřídele, ozubená kola, bandáže. [5]

Používané tyče jsou délky 3000 mm a průměru 30 mm v přesnosti h9. Materiál je v zušlechtěném stavu (1.7225 + QT). Vyráběnou součástí je kulový čep používaný v automobilech, jeho model vytvořený ve studentské verzi softwaru Autodesk Inventor

Professional 2016 je na obr. 3. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 4 a tab. 5.



Obr. 3 Kulový čep vyráběný ze zušlechtěného materiálu 1.7225.

Tab. 4 Chemické složení oceli 1.7225 [hm. %] [5].

C	Si	Mn	P
0,38 – 0,45	Max 0,4	0,6 – 0,9	Max 0,035
S	Cr	Mo	
Max 0,035	0,9 – 1,2	0,15 – 0,3	

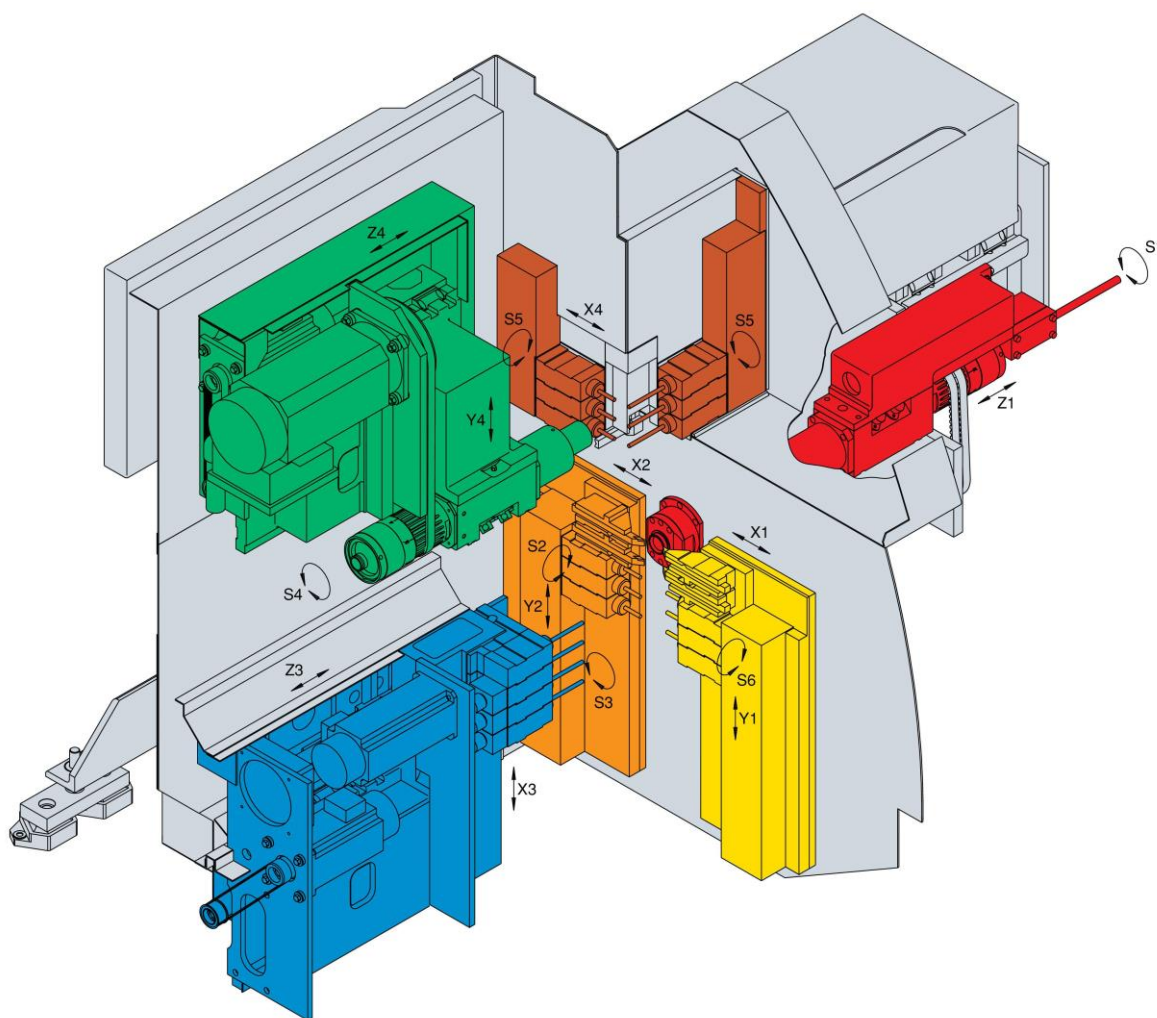
Tab. 5 Mechanické vlastnosti oceli 1.7225 [5].

Polotovar	Rozměr d [mm]	Stav	Mez kluzu R_e [MPa]
Tyče, dráty	17 - 40	Zušlechtěný	750
Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A_5 [%] min	Kontrakce Z [%] min	Nárazová práce KV [J] min
1000 - 1200	11	45	30

2 TECHNOLOGICKÉ MOŽNOSTI DLOUHOTOČNÝCH AUTOMATŮ

2.1 Charakteristika dlouhotočných automatů

Dlohotočné automaty, které jsou často označovány jako soustruhy švýcarského typu, jsou určeny k obrábění z tyčového materiálu. Díky konstrukci stroje jsou zde dílce obráběny nahotovo a často i v lepší přesnosti než u klasického CNC soustruhu. Příklad konstrukčního uspořádání dlouhotočného automatu včetně popisu všech pohyblivých os je zobrazen na obr. 4. Zde jsou barevně odlišeny jednotlivé části stroje, a to světle červeně hlavní vřeteník, tmavě červeně vodící pouzdro, žlutě a okrově nástrojové suporty v hlavní operaci, modře vstřícný suport, zeleně sekundární vřeteník a hnědou barvou nástrojové suporty pro obrábění v protioperaci. [6]



Obr. 4 Příklad konstrukce dlouhotočného automatu Tornos Deco 13 [7].

Dlohotočný automat tvoří hlavní vřeteník, jenž vykonává pohyb v ose Z. Délka tohoto pohybu je nazývána zdvihem vřeteníku. Zdvih vřeteníku však nijak neovlivňuje délku vyráběného dílce, protože ho lze během obrábění podle potřeby i několikrát zopakovat. Při

výrobě krátkých obrobků je možné při plně využitém zdvihu na jedno upnutí kleštiny vyrobít i několik dílců. [6]

Další důležitou součástí dlouhotočného automatu je vodící pouzdro. Vodicí pouzdro je mechanicky seřizováno na průměr obráběného materiálu a jeho správné nastavení má zásadní vliv na přesnost výroby. Vnější průměr materiálu by měl být obepnut kleštinou vodicího pouzdra s minimální vůlí, proto je doporučováno obrábět tyče v přesnosti h9 nebo lepší. V případě horší přesnosti materiálu lze dokonce u některých strojů vodicí pouzdro zcela vyjmout a realizovat obrábění pouze pomocí vřeteníků. [6]

Kolem vodicího pouzdra je umístěn jeden nebo více nástrojových suportů. Pohyb je umožněn pouze v osách X a Y, vzdálenost špičky nástroje od vodicího pouzdra zůstává konstantní. Právě díky malé vzdálenosti špičky nástroje od kleštiny vodicího pouzdra lze soustružením dosahovat vysoké rozměrové přesnosti 0,01 mm a drsností obrobených povrchů až $R_a 0,4$. [6]

Pro úplné dokončení dílce z obou stran jsou dlouhotočné automaty osazeny sekundárním vřeteníkem, který dokáže při upichování odebrat dílec za plných otáček a pokračovat v obrábění v protioperaci. [6]

2.2 Používané stroje

Firma Decoleta, a.s. je vybavena jednovřetenovými a vícevřetenovými CNC dlouhotočnými automaty s řídicím systémem Fanuc. Jednovřetenové automaty o celkovém počtu 43 ks jsou od tří různých výrobců, a to Tornos SA, Star Micronics a Tajmac – ZPS. Na těchto strojích je možné vyrábět i poměrně složité dílce ve vysoké přesnosti. Příklad dílců obráběných na těchto automatech je zobrazen na obr. 5. Vícevřetenových automatů od výrobce Tornos je k dispozici celkem pět, přičemž tři jsou šestivřetenové a dva osmivřetenové. Tyto stroje jsou primárně určeny pro výrobu velkých sérií spíše jednodušších dílců. Chlazení rezného procesu je zajišťováno výhradně rezným olejem a u většiny strojů je také k dispozici samostatná vysokotlaká jednotka.



Obr. 5 Příklady dílců vyráběných na dlouhotočných soustružnických automatech.

Výroba dílců z tvrdých materiálů by měla být směřována především na nové automaty od výrobců Star Micronics a Tajmac – ZPS, jejichž počty jsou i nadále navyšovány. Z tohoto důvodu je následný rozbor možností konkrétních dlouhotočných automatů omezen právě na tyto stroje, jedná se o Star SR-20RIV a Manurhin KMX 732 EVO. V současné době výroba probíhá také na strojích Deco 13, ale tyto stroje jsou již v provozu řadu let a jejich technický stav již není stoprocentní.

Základní parametry všech jednovřetenových strojů, používaných ve společnosti Decoleta, a.s. jsou obsaženy v tab. 6, průměrné stáří strojů je aktuální pro rok 2016.

Tab. 6 Základní parametry jednovřetenových automatů užívaných ve firmě Decoleta, a.s. [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]

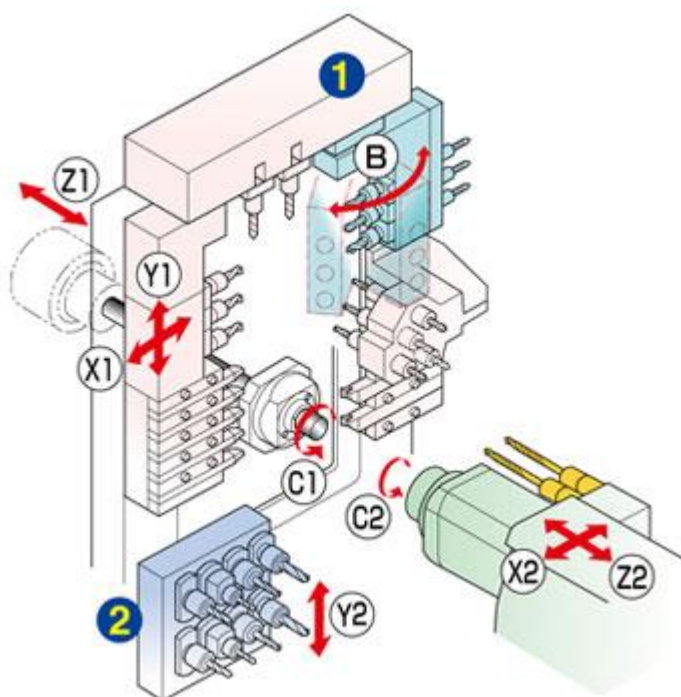
Stroj	Max. \varnothing materiálu [mm]	Max. otáčky hlavního / sekundárního vřetene [min^{-1}]	Zdvih hlavního vřetene [mm]	Zdvih sekundárního vřetene [mm]	Průměrné stáří [rok]
Star SR-10	10	15000 / 10000	135	205	4,1
Star SB-16	16	10000 / 8000	205	225	8
Star SR-20	20	10000 / 10000	205	205	5,7
Tornos Deco 10	10	16000 / 12000	96	99	13,1
Tornos Deco 13	16	10000 / 10000	190	160	14,5
Tornos Deco 20	20	8000 / 10000	200	150	15
Tornos Gamma 20	20	10000 / 12000	250	300	5,7
Manurhin KMX 532 Trend	32	10000 / 10000	410	260	2
Manurhin KMX 732 EVO	32	8000 / 10000	410	300	1

2.2.1 Možnosti dlouhotočných automatů výrobce Star Micronics

SR-20RIV

Na stroji lze obrábět z tyčového materiálu do průměru 20 mm, se speciálním příslušenstvím je možné obráběný průměr zvýšit až na 23 mm. Maximální otáčky hlavního vřeteníku jsou stanoveny na 10000 min^{-1} . V hlavní operaci je sedm pozic pro upnutí držáků soustružnických nožů o průřezu 12 x 12 mm, pět pozic na přední straně a dva na zadní

straně. Čtyři pozice vhodné pro osové nástroje s maximálním průměrem vrtání 12 mm. Poháněných jednotek je celkem osm, maximální průměr nástroje je 10 mm a maximální otáčky jsou 8000 min^{-1} . Tři tyto jednotky lze mechanicky natočit o požadovaný úhel a jejich využití je možné také v protioperaci. Protivřeteník dosahuje maximálních otáček 10000 min^{-1} . Vedle protivřeteníku se nachází dvě pozice pro upnutí vrtáků určených k dlouhému vrtání. V protioperaci je k dispozici osm pozic pro upnutí libovolných nástrojů, všechny tyto pozice jsou zároveň poháněné. Maximální průměr vrtání je 12 mm, při využití pohonu však pouze 6 mm. Také lze v případě potřeby využít čtyři pozice vhodné pro osové nástroje z hlavní operace. Rozložení všech nástrojových pozic znázorňuje obr. 6. [10]



Obr. 6 Rozložení nástrojových pozic Star SR-20RIV [10].

2.2.2 Možnosti dlouhotočných automatů výrobce Tajmac - ZPS, a.s.

Manurhin KMX 732 EVO

Stroj je určen k obrábění tyčového materiálu o průměru až 32 mm. Maximální otáčky hlavního vřeteníku jsou 8000 min^{-1} a zdvih vřeteníku je 410 mm, což umožňuje na jedno upnutí obrábět dílce dlouhé až 400 mm. Nástroje v hlavní operaci jsou upínány na dvě nástrojové desky, které se dokáží pohybovat nezávisle na sobě, což umožňuje paralelní soustružení dvěma nástroji současně. Tyto nástrojové desky mají po pěti nástrojových pozicích a kromě soustružnických nožů o průřezu 16 x 16 mm lze na každou z nich upnout až tři poháněné jednotky. Dále jsou k dispozici čtyři nástrojové pozice pro upínání osových nástrojů a i zde je na ně možné osadit až tři poháněné nástroje. Stejně pozice osových nástrojů jsou použitelné i v protioperaci. U protivřeteníku jsou maximální otáčky stanoveny na 10000 min^{-1} . Rozložení všech nástrojových pozic znázorňuje obr. 7. [15]



Obr. 7 Rozložení nástrojových pozic Manurhin KMX 732 EVO [15].

3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY

3.1 Rozdělení nástrojových materiálů do aplikačních skupin dle ISO

Nástrojové materiály jsou rozděleny do šesti hlavních skupin v souladu se standardy ISO. Každá skupina nástrojových materiálů je označena písmenem a příslušnou barvou. Tyto skupiny jsou uvedeny v tab. 7. Za písmenem bývá uvedeno dvoumístné číslo třídy. Čím je vyšší číslo třídy (např. P 30 – P 60), tím více pojiva je obsaženo v materiálu, čímž je zvýšena houževnatost. Takové materiály jsou vhodné pro hrubovací obrábění nízkou řeznou rychlostí a vyšším posuvem. Počáteční třídy (např. P 01 – P 10) jsou poměrně křehké, mají vyšší odolnost proti plastické deformaci a difuzi. Jsou vhodné pro dokončovací obrábění při vysoké řezné rychlosti, nízkým posuvem, nepřerušovaným řezem a malou hloubkou řezu. [17]

Tab. 7 Rozdělení nástrojových materiálů a jejich aplikační skupiny [18, 19].

Označení	Skupiny obráběných materiálů	
P	Ocel	Nelegované až vysokolegované oceli, zušlechtěné oceli do 400 HB, oceli na odlitky, feritické a martenzitické korozivzdorné oceli.
M	Korozivzdorná ocel	Korozivzdorné austenitické a austeniticko-feritické oceli.
K	Litina	Šedá litina, litina s kuličkovým grafitem, temperovaná litina a litina s vermikulárním grafitem.
N	Neželezné kovy	Hliník, měď, mosaz a ostatní neželezné kovy.
S	Žárovzdorné superslitiny a titanové slitiny	Žárovzdorné slitiny na bázi železa, niklu, kobaltu a titanu.
H	Tvrdé materiály	Oceli o tvrdosti 45 – 65 HRC, tvrzené litiny v rozmezí 400 – 600 HB.

3.2 Výběr nástrojových materiálů

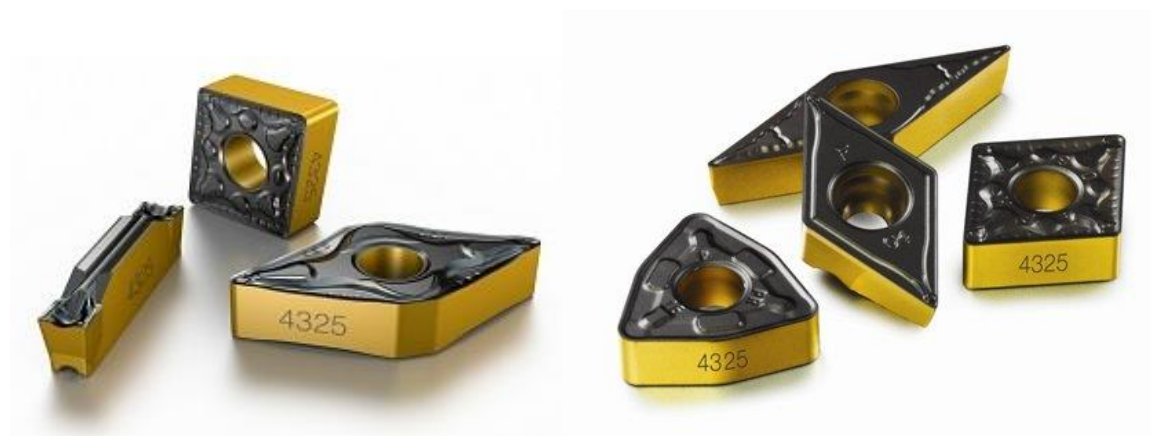
Při obrábění kalené oceli by měl být nástroj především odolný proti abrazivnímu opotřebení, chemicky stabilní a tvrdý za tepla. Jedná se o nástroje ze speciálně vyvinutých řezných materiálů, kam patří řezná keramika a kubický nitrid bóru. Tyto materiály jsou voleny pro obrábění materiálů zařazených dle ISO do skupiny H. Avšak i u těchto ocelí

převládá používání slinutých karbidů pro operace frézování a vrtání, a to až do tvrdosti obráběného materiálu přibližně 60 HRC. [2, 20]

3.2.1 Slinuté karbidy (SK)

Slinutý karbid je produktem práškové metalurgie. Skládá se z velice tvrdého karbidu (WC, TiC, TaC, NbC) a kovového pojiva (nejčastěji Co). Velikost částic karbidů se pohybuje v rozmezí 1 – 10 μm a jsou ve výsledném materiálu obsaženy v množství 80 – 95 %. Nástroje ze slinutých karbidů mohou být používány v podobě nepovlakované nebo s nanesenou velmi tenkou vrstvou povlaku z tvrdých materiálů (např. TiN, TiCN, Al_2O_3). Povlaky mohou být jednovrstvé i vícevrstvé a podstatně zvyšují výkonnost nástrojů, kdy je možno výrazně zvýšit řeznou rychlost a zároveň zvýšit trvanlivost nástroje. Příklad povlakovaných VBD ze slinutého karbidu je na obr. 8. [2]

Slinuté karbidy je možné použít k obrábění většiny materiálů. Snášejí zahřátí břitu až na cca 900 °C. Jejich vlastnosti závisí především na složení a zrnitosti materiálu, množství a velikosti strukturních defektů (např. póry) a samozřejmě také na kvalitě vstupních surovin. [21, 22]



Obr. 8 VBD ze slinutého karbidu [23, 24].

3.2.2 Cermet

Název cermet vznikl spojením CERamic – METal, z čehož vyplývá, že se jedná o keramické částice s kovovým pojivem. Lze je považovat za slinuté karbidy vyrobené na bázi titanu. Jejich využití je při velkých řezných rychlostech, malých posuvech a hloubkách řezu. Výhodné vlastnosti mají pro použití při dokončovacích operacích a v některých případech i pro střední obrábění. Nevhodné jsou pro hrubování a obtížné operace při soustružení tvarů. Využívají se především při požadavku na vysokou přesnost rozměrů a kvalitu obrobeného povrchu. [2]

Použití cermetů je vhodné pro případy, kdy dochází k ulpívání materiálu k břitu nástroje a tím k tvorbě nárůstků. Typické příklady použití jsou dokončovací operace korozivzdorných ocelí, nízkouhlíkových ocelí a feritických ocelí. Příklad cermetových VBD je na obr. 9. [25]

Vlastnosti cermetů [2]:

- vysoká odolnost proti opotřebení hřbetu a opotřebení ve tvaru žlábků na čele,
- vysoká chemická stabilita a tvrdost za tepla,
- malý sklon k vytváření nárůstků,
- malý sklon k oxidačnímu opotřebení.



Obr. 9 VBD z cermetu [26].

3.2.3 Řezná keramika

Keramika je polykrystalický materiál s vysokou odolností proti opotřebení, má velkou chemickou stabilitu a tvrdost za tepla. Velikost zrn bývá často menší než 1 μm . Typická mechanická vlastnost keramiky je křehkost. Tento řezný materiál prakticky není schopen plastické deformace a porušuje se nestabilním rychlým štěpným lomem s malou absorpcí energie (křehký lom). [2, 21]

Rozlišujeme dva základní typy keramiky, a to keramiku na bázi oxidu hlinitého a keramiku na bázi nitridu křemíku. Keramika na bázi oxidu hlinitého se dále dělí na čistou (oxidickou), směsnou a vyztuženou. Na obr. 10 jsou zobrazeny VBD z řezné keramiky. [2]

Pro úspěšné nasazení ve výrobě musí být splněno [21]:

- vysoká tuhost systému stroj – nástroj – obrobek,
- použití výkonných obráběcích strojů,
- výborný stav obráběcího stroje,
- zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku,
- odstranění kůry obráběného polotovaru (odlitky, výkovky, válcovaný materiál) jiným druhem nástrojového materiálu, např. slinutým karbidem,
- sražení náběhových hran obrobku,
- najíždění a vyjíždění z řezu při snížených hodnotách posuvu,

- výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky,
- správná volba tvaru ostří,
- zakrytí pracovního prostoru (ochrana před odlétající třískou).



Obr. 10 VBD z řezné keramiky [27].

3.2.4 Kubický nitrid bóru (CBN, KNB, PKNB)

CBN patří do skupiny supertvrdých řezných materiálů. Vyznačuje se mimořádnou tvrdostí, vysokou tvrdostí i při extrémních teplotách (2000 °C), chemickou stabilitou a odolností proti abrazivnímu opotřebení. Materiály vhodné pro obrábění pomocí CBN musí splňovat minimální doporučenou tvrdost 45 HRC. Při obrábění měkčích materiálů dochází k mimořádně velkému opotřebení břitu. VBD mohou být vyráběny pouze z CBN jako kompaktní těleso nebo nanesením, či připájením silné vrstvy CBN na nosič ze slinutého karbidu. Příklad břitových destiček z CBN je na obr. 11. [2, 21]

Řezné síly při obrábění pomocí CBN jsou relativně vysoké, což je způsobeno nejen obráběním tvrdých materiálů, ale také používáním negativní geometrie břitu. Z tohoto důvodu musí být při použití CBN splněn předpoklad maximální stability a výkonu stroje. Při správném použití zaručuje CBN extrémně vysokou odolnost proti opotřebení.[2]

Doporučené řezné rychlosti jsou jen mírně vyšší a posuvy jsou relativně nízké. Kvůli zabránění teplotních šoků a tím vzniku trhlin, by obrábění mělo probíhat přednostně bez použití chladicí kapaliny. Při použití chladicí kapaliny by měla být použita emulze, kapalina musí být přiváděna v dostatečném stejnoměrném množství přímo na břit. [2]

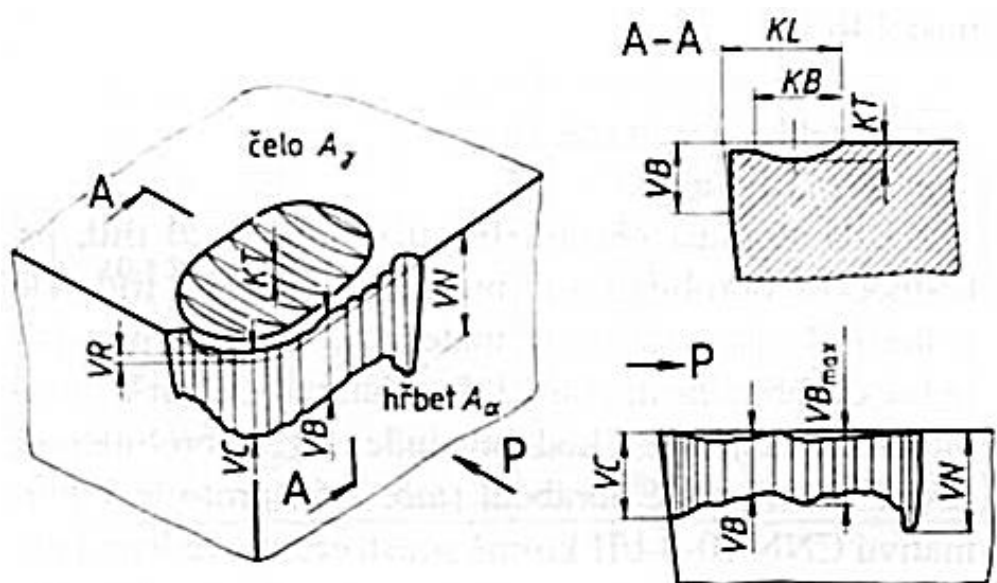


Obr. 11 VBD z kubického nitridu bóru [28, 29].

4 KRITÉRIA OBROBITELNOSTI

4.1 Opotřebení břitu

Při obrábění dochází k tvorbě velkého množství tepla, jenž vzniká na čele a hřbetu nástroje, toto tepelné zatížení značně namáhá materiál břitu. Vysoké teploty rezného procesu za přítomnosti okolního vzduchu bývají příčinou oxidačního opotřebení nástrojového materiálu. Obráběný materiál také často obsahuje tvrdé částice, které způsobují abrazivní ořez nástroje. Abrazivní ořez je velice častým opotřebením břitu nástroje a značně závisí na tvrdosti nástrojového materiálu. Chemické vlastnosti rezného materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku jsou hlavními činiteli pro vznik difúzního opotřebení. Některé rezné materiály nereagují s materiálem obrobku vůbec, ale jiné mohou mít velice vysokou afinitu. K adhezivnímu ořezu dochází při nízkých teplotách na čele nástroje. Při nižších rezných rychlostech je při bodovém dotyku třísky a nástroje umožněno adhezivní spojení obou materiálů, což má za následek vznik nárůstků a následnému vydrolování či lomu nástroje. Opotřebení břitu se kvantifikuje rozměrovými charakteristikami, které se zjišťují pomocí měření na různých mikroskopických přístrojích s následným vyhodnocením. Označení parametrů opotřebení břitu nástroje je zobrazeno na obr. 12. [30]



Obr. 12 Označení parametrů opotřebení rezného nástroje [30].

- VB – opotřebení hřbetu průměrné
- VC – opotřebení hřbetu v oblasti špičky
- VN – opotřebení hřbetu vrubové
- VB_{max} – opotřebení hřbetu maximální
- KT – hloubka žlábků opotřebení čela
- KB – šířka žlábků opotřebení čela
- KM – poloha středu žlábků opotřebení čela
- VR – radiální opotřebení špičky

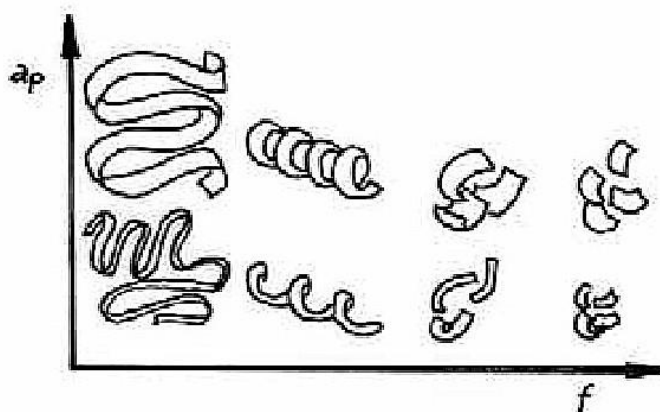
4.2 Utváření třísky

Tvar třísky do značné míry ovlivňuje druh a vlastnosti obráběného materiálu. Existuje však mnoho dalších faktorů, které mohou ovlivnit utváření třísky, např. řezné síly, vibrace, pevnost nástroje. Utváření třísky začíná počínajícím zakřivením při zářezu nástroje a dále závisí na kombinaci řezných podmínek (na posuvu a šířce záběru ostří nástroje, úhlech břitu, na druhu a vlastnostech materiálu obrobku a rovněž na velikosti poloměru špičky). Vliv řezných podmínek a geometrie nástroje na tvar třísky je uveden v tab. 8. Žádoucí je tříska článkovitá nebo ve tvaru krátkých šroubovic. Jsou tři různé druhy lomu třísky, a to samočinný lom, lom třísky na nástroji a lom třísky při nárazu na materiál obrobku. [2]

Na obr. 13 je znázorněn vliv posuvu a šířky záběru ostří nástroje na tvaru třísky. Z tohoto obrázku je jasné patrné, že šířka záběru ostří nástroje nemá na tvar odcházející třísky žádný zásadní vliv a mění pouze její šířku. Kdežto zvyšování rychlosti posuvu má výrazný vliv na její lámání.

Tab. 8 Vliv řezných podmínek a geometrie nástroje na tvar třísek [31].

Řezné podmínky, geometrie nástroje	Vliv na tvar třísky
Řezná rychlost	S rostoucí řeznou rychlostí se zhoršuje tvar třísek v závislosti na obráběném materiálu.
Posuv	S rostoucím posuvem se zlepšuje lámání třísky, ale vysoké posuvy zároveň vedou ke zhoršení drsnosti obráběného povrchu.
Hloubka řezu	Nemá žádný přímý vliv.
Úhel nastavení	Záporný úhel čela má za následek dobré lámání třísky, ale zároveň také horší jakost obráběného povrchu.
Úhel čela	Čím je větší úhel nastavení, tím lépe se láme tříska.
Utvařeče třísek	Cíleně zlepšují lámání třísek.



Obr. 13 Závislost tvaru třísky na velikosti posuvu a šířce záběru ostří nástroje [32].

5 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE

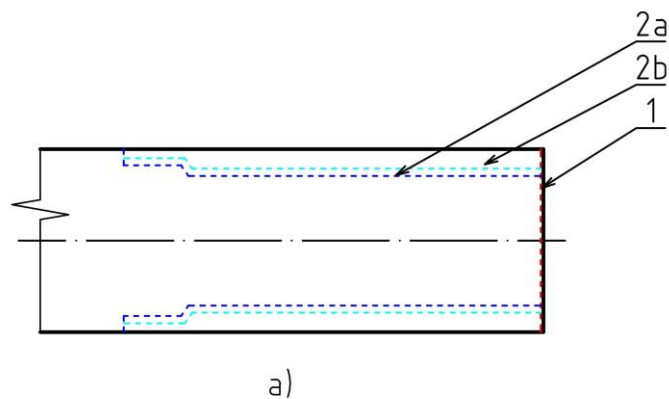
5.1 Kolík

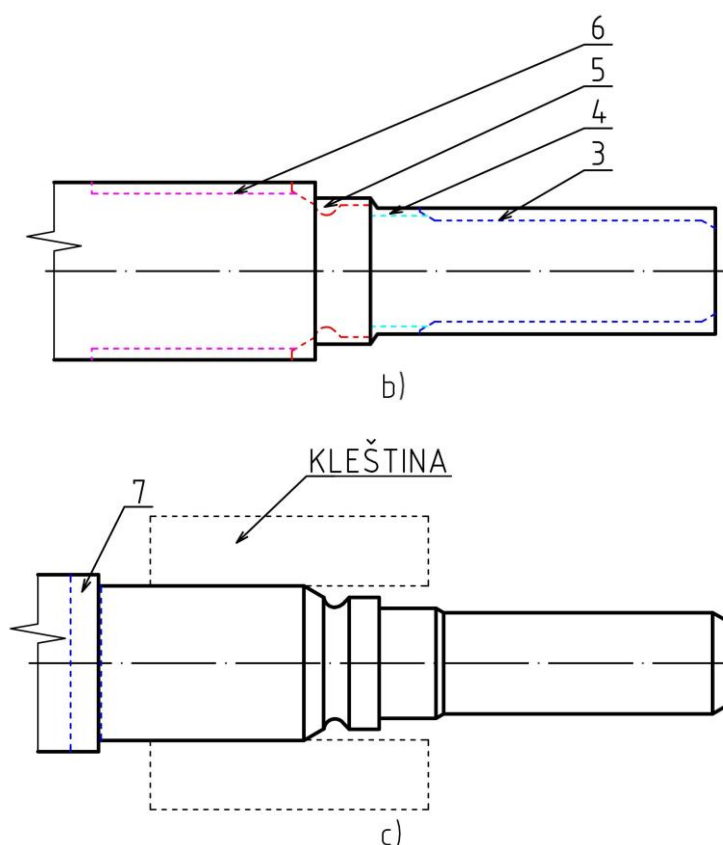
Dílec je vyráběn na stroji Tornos Deco 13 z tyčového materiálu o průměru 12,7 mm. Nástroje jsou pouze soustružnické nože. Odebírání kusů protivřeteníkem je realizováno za obrobený $\varnothing 11,1$ mm v délce 41 mm. Přidávky na zarovnání čel jsou stanoveny na 0,2 mm. Výrobní výkres součásti Kolík, vytvořený ve studentské verzi softwaru Autodesk AutoCAD 2014 je obsažen v příloze.

Postup obrábění v hlavní operaci:

1. zarovnání čela – stranový nůž s VBD tvaru C a poloměrem špičky nástroje 0,2 mm (pozice nástroje T 11),
2. hrubování na $\varnothing 10$ mm (b) současně s hrubováním na $\varnothing 9$ mm (a) v délce 24,5 mm a hrubování $\varnothing 10,5$ mm do délky 29 mm – dva stranové nože s VBD tvaru C a poloměrem špičky nástroje 0,4 mm (pozice nástrojů T 15 a T 23),
3. sražení hrany 1 x 30°, soustružení $\varnothing 7,25$ mm v délce 20,39 mm a soustružení zkosení 30° – stranový nůž s VBD tvaru C a poloměrem špičky 0,2 mm (pozice nástroje T 25),
4. soustružení $\varnothing 7,9$ mm v délce 25 mm – stranový nůž s VBD tvaru C a poloměrem špičky 0,2 mm (pozice nástroje T 13),
5. soustružení $\varnothing 9,35$ mm v délce 27,05 mm, soustružení zápichu a soustružení zkosení 1,38 x 30° – stranový nůž s VBD tvaru V a poloměrem špičky 0,4 mm (pozice nástroje T 24),
6. soustružení $\varnothing 11,1$ mm v délce 45,2 mm – stranový nůž s VBD tvaru C a poloměrem špičky 0,4 mm (pozice nástroje T 14),
7. upíchnutí a odebrání protivřeteníkem – upichovací nůž s VBD šířky 2,2 mm (pozice nástroje T 21).

Na obr. 14 je grafické znázornění postupu výroby dílce Kulový čep v hlavní operaci. Čísla na obrázku souhlasí s číslováním postupu obrábění.





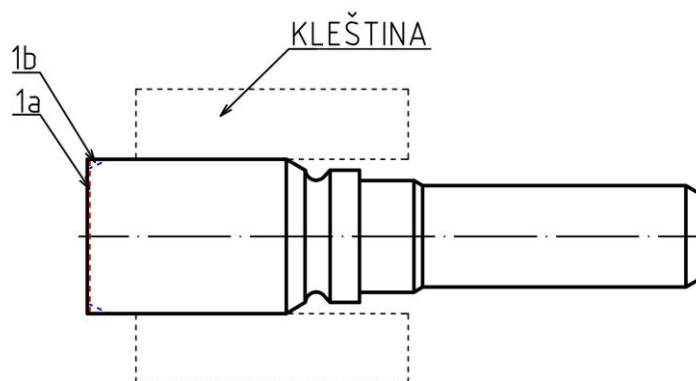
Obr. 14 Postup výroby dílce Kolík v hlavní operaci:

- zarovnání čela a hrubování,
- soustružení načisto a soustružení zápichu,
- odebrání a upíchnutí.

Postup obrábění v protioperaci:

- zarovnání čela (a) a soustružení sražení $1,38 \times 25^\circ$ (b) – stranový nůž s VBD tvaru V s hladicí plochou a poloměrem špičky 0,08 mm (pozice T 53).

Na obr. 15 je grafické znázornění výroby dílce Kolík v protioperaci. Čísla na obrázku souhlasí s číslováním postupu obrábění.



Obr. 15 Postup výroby dílce Kolík v protioperaci – zarovnání čela.

5.2 Kulový čep

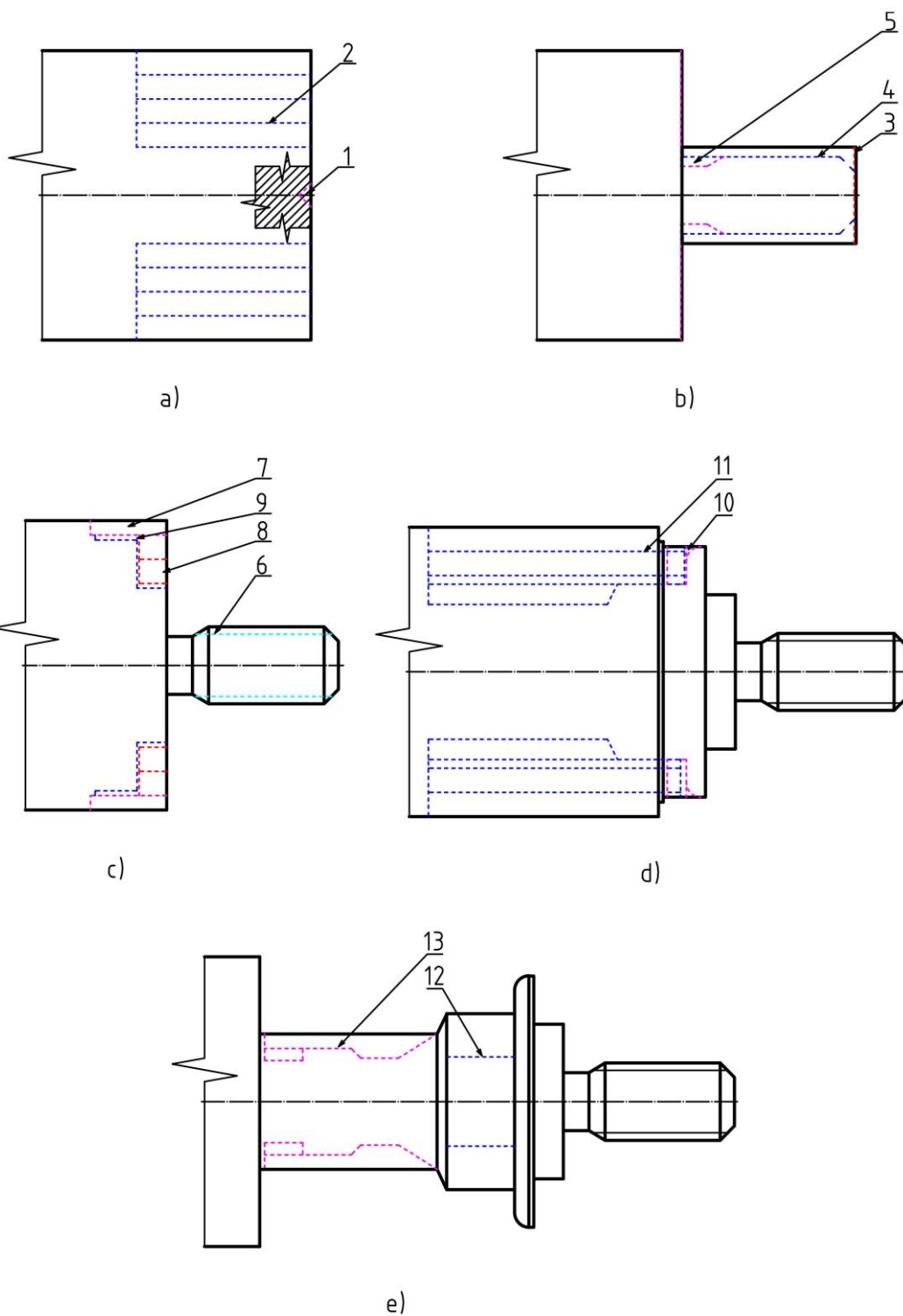
Dílec je vyráběn na stroji Manurhin z tyčového materiálu o průměru 30 mm. Na stroji je osazeno celkem deset soustružnických nožů, dva středící vrtáky a jedna fréza. Odebírání kusu protivřeteníkem je realizováno za velký průměr závitu M 8 za délku 15,3 mm. Upínací síla sekundárního vřetene nesmí být příliš velká, aby nedošlo k poškození závitu. Z tohoto důvodu nelze v protioperaci odebírat větší množství třísky a obrábění je zde omezeno pouze na zarovnání čela a navrtání. Přídavky na zarovnání čel jsou stanoveny na 0,2 mm. Výrobní výkres součásti Kulový čep, vytvořený ve studentské verzi softwaru Autodesk AutoCAD 2014 je obsažen v příloze.

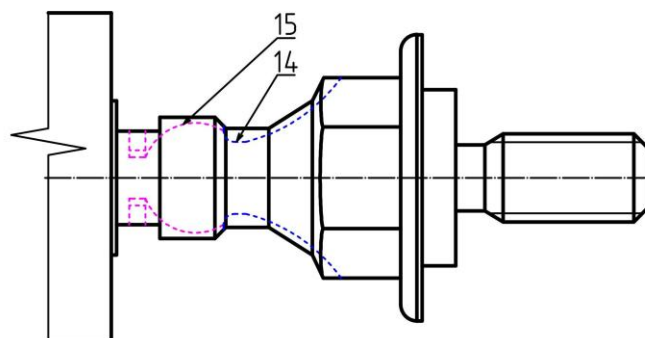
Postup obrábění v hlavní operaci:

1. navrtání do hloubky 1 mm – středící vrták 90° ø 6 mm (pozice nástroje T 33),
2. hrubování na ø 10 mm v délce 17,8 mm – stranový nůž s VBD tvaru C a poloměrem špičky nástroje 0,4 mm (pozice nástroje T 5),
3. zarovnání čela – stranový nůž s VBD tvaru C a poloměrem špičky 0,4 mm (pozice nástroje T 4),
4. sražení hrany 1,5 x 45° a soustružení ø 8 mm v délce 17,7 mm – stranový nůž s VBD tvaru C a poloměrem špičky 0,4 mm (pozice nástroje T 4),
5. soustružení zápichu ø 6 mm do délky 18 mm – stranový nůž s VBD tvaru V a poloměrem špičky 0,4 mm (pozice nástroje T 9),
6. závit M8 x 1,25 – závitový soustružnický nůž s VBD pro stoupání závitu 1,25 mm (pozice nástroje T 8),
7. hrubování ø 27 mm v délce 26 mm – stranový nůž s VBD tvaru C a poloměrem špičky 0,4 mm (pozice nástroje T 5),
8. hrubování ø 17 mm v délce 20,9 mm – stranový nůž s VBD tvaru C a poloměrem špičky 0,4 mm (pozice nástroje T 4),
9. soustružení ø 16 mm v délce 21,1 mm a ø 26 mm v délce 25,5 mm – stranový nůž s VBD tvaru C a poloměrem špičky 0,4 mm (pozice nástroje T 4),
10. soustružení R 1,5 a čelo do ø 18,4 mm – zápichový nůž s VBD obdélníkového tvaru šířky 2 mm a zaoblením rohů 0,2 mm (pozice nástroje T 7),
11. hrubování na ø 14 mm pro R 15 v délce 49,5 mm – zápichový nůž s VBD obdélníkového tvaru šířky 4 mm a zaoblením rohů 0,4 mm (pozice nástroje T 6),
12. frézování šestihranu OK 16 mm – fréza ø 10 mm se čtyřmi zuby, se zubem přes střed (pozice nástroje T 1),
13. hrubování pro kouli R 5 do délky 49 mm – zápichový nůž s VBD obdélníkového tvaru šířky 4 mm a zaoblením rohů 0,4 mm (pozice nástroje T 6),
14. soustružení R 15 – stranový nůž s VBD tvaru V a poloměrem špičky 0,4 mm (pozice nástroje T 3),
15. soustružení koule R 5 – zápichový nůž s VBD obdélníkového tvaru šířky 1,5 mm a zaoblením rohů 0,2 mm (pozice nástroje T 2),

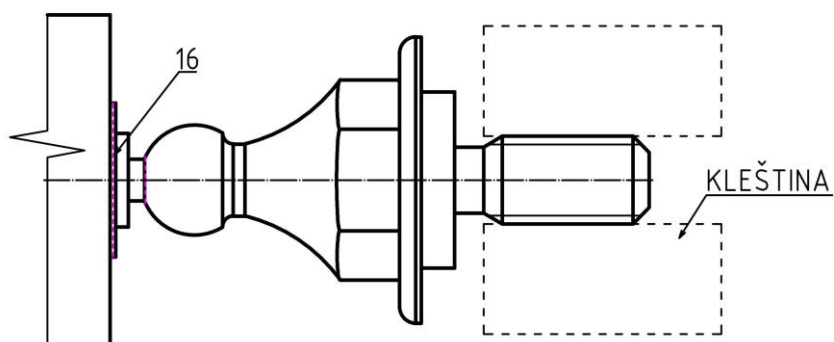
16. upíchnutí a odebrání protivřeteníkem – upichovací nůž s VBD šířky 3 mm (pozice nástroje T 10).

Na obr. 16 je grafické znázornění postupu výroby dílce Kulový čep v hlavní operaci. Čísla na obrázku souhlasí s číslováním postupu obrábění.





f)



g)

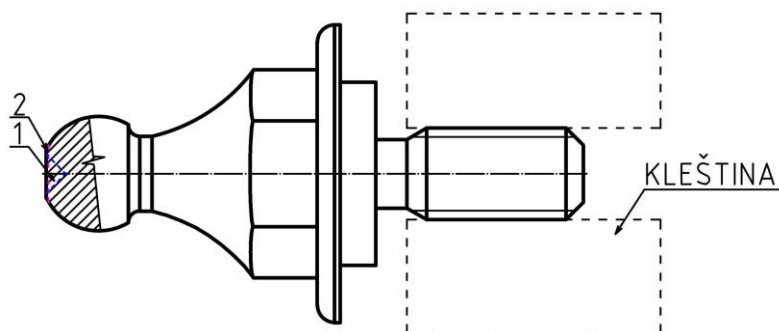
Obr. 16 Postup výroby dílce Kulový čep v hlavní operaci:

- navrtání a hrubování,
- zarovnání čela, soustružení průměru pod závit a zápichu,
- řezání závitu, hrubování, soustružení načisto,
- hrubování,
- frézování šestihranu, hrubování,
- soustružení načisto,
- odebrání a upíchnutí.

Postup obrábění v protioperaci:

1. navrtání do hloubky 1,5 mm – nástroj je středící vrták 90° \varnothing 6 mm (pozice nástroje T 37),
2. zarovnání čela – stranový nůž s VBD tvaru D s poloměrem špičky 0,2 mm (pozice nástroje T 38).

Na obr. 17 je grafické znázornění výroby dílce Kulový čep v protioperaci. Čísla na obrázku souhlasí s číslováním postupu obrábění.



Obr. 17 Postup výroby dílce Kulový čep v protioperaci.

6 POUŽITÉ NÁSTROJE

6.1 Nástroje pro dílec Kolík

Nástroje používané pro výrobu dílce Kolík jsou vyměnitelné břitové destičky z povlakovaného slinutého karbidu a svou použitelností nespádají do skupiny nástrojových materiálů H, proto nejsou vhodné pro obrábění předepsané zušlechtnuté oceli 1.7220 o tvrdosti cca 50 HRC. Kompletní přehled všech nástrojů používaných k obrábění dílce Kolík je obsažen v tab. 9.

Tab. 9 Vyměnitelné břitové destičky [33, 34, 35].

T	Výrobce	Označení	Operace	Obrázek
11	Applitec	CCGT-09T302-ENP-X17 TiAlN	Zarovnání čela	
13	Applitec	CCGT-09T302-ENP-X17 TiAlN	Soustružení ø 7,9 mm	
14	PM Tech	CCMT-09T304-EM-30153-F CORUND Line	Soustružení ø 11,1 mm	
15	PM Tech	CCMT-09T304-EM-30153-F CORUND Line	Hrubování	
23	Arno	CCMT 09T304EN-PM1 AM2130	Hrubování	
24	Arno	VCXT-110304EN-AEC AM5020	Soustružení zápichu	
25	Applitec	CCGT-09T302-ENP-X17 TiAlN	Soustružení ø 7,25 mm	
53	Applitec	Nr.317-R08 TiAlN	Zarovnání čela, sražení hrany	
21	Iscar	DGN 220 2LF IC5400	Upichování	



6.2 Nástroje pro dílec Kulový čep

Všechny nástroje používané pro výrobu dílce Kulový čep jsou z povlakovaného slinutého karbidu a nespádají svou použitelností do skupiny H, proto nejsou vhodné pro obrábění zušlechtnuté oceli 1.7225 o tvrdosti cca 58 HRC. Výjimkou je pouze nástroj na pozici T 38, jenž je možné použít k obrábění tvrdých materiálů při výrobce doporučené řezné rychlosti $v_c = 30 - 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Kompletní přehled nástrojů používaných k obrábění dílce Kulový čep je obsažen v tab. 10 a tab. 11. [34]

Tab. 10 Vyměnitelné břitové destičky [33, 34, 36].

Pozice T	Výrobce	Označení	Použití	Obrázek
38	Arno	DCGT 070202 EN – ASF AM5015	Zarovnání čela	
03, 09	Arno	VCXT 110304 EN – AEC AM5020	Soustružení zápichu a R 15	
08	Arno	16ER-V-ISO 1,25 AL 100	Soustružení závitu	
02	Applitec	744x-1,5-R08 TiAlN	Soustružení koule R5	
07	Applitec	744 ZXT 10-2,0-R08 TiAlN	Soustružení čela a R 1,5	
06	Applitec	DVBT-764 ZXT 10-4,0-R40 TiAlN	Hrubování	
04	Applitec	CCGT-09T304-FN-X17 TiAlN	Soustružení ø 8 mm, ø 16 mm	
05	PM Tech	CCMT-09T304 EN-HF 10252 CORUND Line	Hrubování	
10	Walter	GX16-2E300N020-CF6 WSM33S	Upichování	

Tab. 11 Frézy, navrtávký [33, 36].

Pozice T	Výrobce	Označení	Použití	Obrázek
33, 37	Applitec	2680-6-90-MD TiAlN	Navrtání	
01	Walter	H4034217-10 4 zuby	Frézování šestihranu	

7 HLAVNÍ PROBLÉMY STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE

Největším problémem stávající technologie je v případě zušlechtěných ocelí především velice nízká životnost používaných nástrojů ze slinutého karbidu, kdy u některých VBD často dochází k vylovení části bříty. Dále nevhodně utvářená tříska a nízká produktivita obrábění.

Nevhodně utvářená tříska

Tvoří se dlouhé souvislé spirálovité třísky, které se často namotávají na obráběný kus a znemožňují efektivní chlazení řezného procesu. Množství namotaných třísek může být tak velké, že zabrání protivřeteníku v odebrání dílce nebo při odebrání dílce přes menší množství namotaných třísek dochází k vytváření otlaků na povrchu součásti a tím značně stoupá množství neshodných kusů a díky častým prostojům klesá produktivita výroby. Tvar třísek vznikajících při obrábění dílce Kolík je zobrazen na obr. 18.



a)



b)



c)



d)

Obr. 18 Tvar třísky při obrábění dílce Kolík:

- a) tříska utvořená při soustružení $\varnothing 7,25$ mm ($n = 5000 \text{ min}^{-1}$ $f = 0,04$ mm),
- b) tříska utvořená při soustružení $\varnothing 9,45$ mm a rádiusového zápichu ($n = 5000 \text{ min}^{-1}$ $f = 0,02 - 0,05$ mm),
- c) tříska utvořená při upichování ($n = 3000 \text{ min}^{-1}$ $f = 0,04$ mm),
- d) tříska utvořená při hrubování ($n = 1600 \text{ min}^{-1}$ $f = 0,12$ mm).

Výpočet řezné rychlosti [30]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \quad (1)$$

v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

D – obrobený průměr [mm]

n – otáčky [min^{-1}]

Zarovnání čela (T 11):

$$v_c = \frac{\pi \cdot 12,7 \cdot 5000}{10^3}$$

$$v_c \cong 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Při zarovnání čela jsou používány konstantní otáčky, proto se řezná rychlost pohybuje v intervalu 0 – 200 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Dokončovací soustružení $\varnothing 7,9$ mm (T 13):

$$v_c = \frac{\pi \cdot 7,9 \cdot 5000}{10^3}$$

$$v_c \cong 124 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Dokončovací soustružení $\varnothing 11,1$ mm (T 14):

$$v_c = \frac{\pi \cdot 11,1 \cdot 1600}{10^3}$$

$$v_c \cong 56 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Hrubování na $\varnothing 10$ mm (T 15):

$$v_c = \frac{\pi \cdot 10 \cdot 1600}{10^3}$$

$$v_c \cong 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Upíchnutí (T 21):

$$v_c = \frac{\pi \cdot 12,7 \cdot 3000}{10^3}$$

$$v_c \cong 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Při upíchování jsou používány konstantní otáčky, proto se řezná rychlost pohybuje v intervalu 0 – 120 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Hrubování na $\varnothing 9$ mm (T 23):

$$v_c = \frac{\pi \cdot 9 \cdot 1600}{10^3}$$

$$v_c \cong 45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Dokončovací soustružení $\varnothing 9,45$ mm, soustružení zápichu a zkosení (T 24):

$$v_c = \frac{\pi \cdot 8 \cdot 5000}{10^3}$$

$$v_c \cong 125 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot 11,1 \cdot 5000}{10^3}$$

$$v_c \cong 174 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Při soustružení tvaru jsou používány konstantní otáčky, proto se řezná rychlost pohybuje v intervalu $125 - 174 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Dokončovací soustružení $\varnothing 7,25$ mm (T 25):

$$v_c = \frac{\pi \cdot 7,25 \cdot 5000}{10^3}$$

$$v_c \cong 114 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Zarovnání čela (T 53):

$$v_c = \frac{\pi \cdot 11,1 \cdot 3000}{10^3}$$

$$v_c \cong 105 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Při zarovnání čela jsou používány konstantní otáčky, proto se řezná rychlost pohybuje v intervalu $0 - 105 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Z rozboru obr. 18 a výpočtu řezných rychlostí vyplývá, že nejvýhodnější tříska odchází při hrubování, kde byla řezná rychlost nejnižší a nejméně žádoucí tříska byla vytvářena při soustružení $\varnothing 7,25$ mm, kdy byla řezná rychlost více než dvojnásobná. Rozdíl v řezných rychlostech je jasně patrný i na zbarvení třísky, kdy při hrubování odcházela tříska v barvě obráběného kovu a při dokončovacím soustružení byla tříska vlivem vysokých řezných teplot černá.

Opotřebení břitů VBD

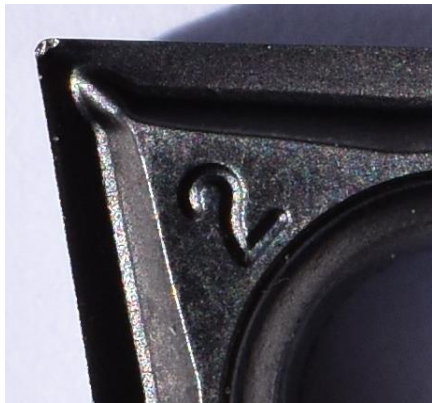

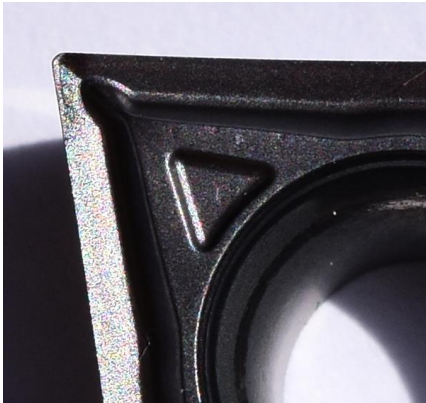
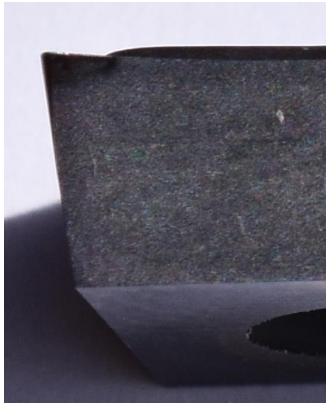
Opotřebení břitů VBD ze slinutého karbidu při obrábění dílce Kolík je u jednotlivých nástrojů značně rozdílné, což je částečně způsobeno složením a geometrií břitové destičky a částečně volbou rozdílné řezné rychlosti. Hrubovací nože, které ubírají největší množství

třísky, jsou právě díky nižší řezné rychlosti mnohem méně opotřebený než např. nůž na pozici T 24, který dokončuje $\varnothing 9,45$ mm a soustruží zápich. Na břit tohoto nože dochází k tvorbě nárůstku, při jehož odlomení dochází i k oddělení části břitu.


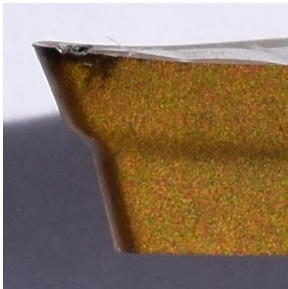

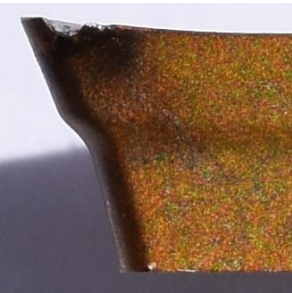

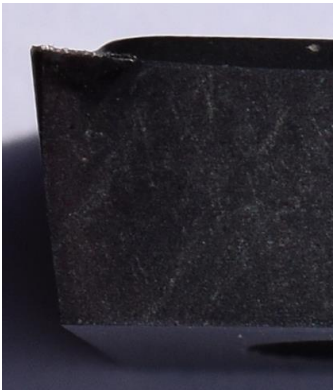


Velice náchylný k vylomení části břitu je také upichovací nůž na pozici T 21. Zde je třeba využít funkce konstantní řezná rychlost a při upichování posledních 2 mm snížit posuv o 75 %, což vede ke zvýšení životnosti nástroje. U nože v protioperaci na pozici T 53 dochází ke vzniku mikrotrhlin na břitu. Opět je třeba využít konstantní řezné rychlosti a zvolit vhodnější tvar i geometrii destičky. Také by měla být použita vyšší třída slinutého karbidu pro zvýšení houževnatosti materiálu břitové destičky. Na břitu totiž vznikají mikrotrhliny i v části, kde není v záběru, což je způsobeno odcházející třískou. [37]

V tab. 12 jsou fotografie opotřebení těchto VBD po výrobě 200 kusů dílce Kolík s vypočítaným jednotkovým strojním časem. Právě po 200 kusech dochází na stroji ke kompletní výměně všech VBD, přičemž v případě některých nástrojů jsou tyto výměny předčasné.

Tab. 12 Rozbor opotřebení VBD použitých k výrobě dílce Kolík.

Pozice	čas pro výrobu 200 ks [min]	Opotřebení VBD po výrobě 200 ks dílce Kolík	
Operace	Řezná rychlost [m.min ⁻¹]		
T 11	5,18	 	
Zarovnání čela	0 - 200		
T 13	4,00	 	
Soustružení $\varnothing 7,9$ mm	124		

Pozice	t_{AS} pro výrobu 200 ks [min]	Opatření VBD po výrobě 200 ks dílce Kolík	
Operace	Řezná rychlost [m.min ⁻¹]		
T 14	16,88	 	
Soustružení ø 11,1 mm	56		
T 15	26,46	 	
Hrubování ø 10 mm	50		
T 21	10,58	  	
Upichování	0 - 120		
T 23	25,94	 	
Hrubování ø 9 mm	45		

Pozice	t_{AS} pro výrobu 200 ks [min]	Opatření VBD po výrobě 200 ks dílce Kolík	
Operace	Řezná rychlost [m.min ⁻¹]		
T 24	11,63		
Soustružení zápichu a ø 9,35 mm	125 - 174		
T 25	14,94		
Soustružení ø 7,25 mm	114		
T 53	15,71		
Sražení hrany a zarovnání čela	0 - 105		

8 NÁVRH RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ

Nástroje ze slinutého karbidu

Obrábění materiálů s tvrdostí nad 45 HRC slinutými karbidy není doporučováno, s výjimkou vrtání a frézování. Proto musí být při obrábění pomocí SK použity extrémně nízké řezné rychlosti, pohybující se pouze okolo 30 – 60 m.min⁻¹, což se velice negativně projeví na celkové produktivitě obrábění a ekonomickém vyhodnocení výroby.






Nástroje z CBN




Nástroje z CBN jsou nejlepší volbou pro obrábění tvrdých materiálů o tvrdosti nad 45 HRC. Jejich vysokou pořizovací cenu kompenzuje dlouhá trvanlivost bříty a vysoká produktivita obrábění.

Kolík

Pro výrobu dílce Kolík byla přepracována technologie výroby ze stroje Deco 13 na novější a stabilnější stroj Star SR-20RIV. Nově navržené nástroje z CBN jsou v tab. 13. Čísla nástrojových pozic (T) jsou aktuální pro stroj Star a liší se od původního číslování. Ze slinutého karbidu je pouze upichovací nůž, jenž z CBN není vyráběn.

Tab. 13 Nástroje navržené pro dílec Kolík na stroj Star SR-20RIV [36].







T	Výrobce	Označení	Použití	Obrázek
01	Walter	GX16-1E250N020-CE4 WSP43	Upichování	
02	Walter	TCMW 110204 WCB50	Zarovnání čela	
03	Walter	CCMV 060204-2 WCB50	Hrubování	
04	Walter	DCMW 11T302 WCB30	Soustružení kontury	
05	Walter	VBMW 160404-2 WCB50	Soustružení zápichu	




T	Výrobce	Označení	Použití	Obrázek
11	Walter	CCMV 060204-2 WCB50	Hrubování	
12	Walter	CCMW 060204-2 WCB30	Soustružení kontury	
21	Walter	DCMW 11T304-2 WCB50	Sražení hrany, zarovnání čela	

Kulový čep



Nástroje z CBN pro dílec Kulový čep jsou obsaženy v tab. 14 a tab. 15. Ze slinutého karbidu je opět upichovací nůž a dále také závitový nůž, fréza a navrtávký. Kulový čep musí být nadále vyráběn na strojích Manurhin, protože žádné jiné stroje ve firmě Decoleta, a.s. nedokáží obrábět tyčový materiál $\varnothing 30$ mm.

Tab. 14 Nástroje z CBN navržené pro dílec Kulový čep pro stroj Manurhin [36, 38].

Pozice T	Výrobce	Označení	Použití	Obrázek
38	Walter	TCMW 110204 WCB50	Zarovnání čela	
03, 09	Walter	VBMW 160404-2 WCB50	Soustružení zápichu a R 15	
08	Arno	16ER-V-ISO 1,25 AL 100	Soustružení závitu	
02	Sandvik	R123H1-0200-RE	Soustružení koule R5	
07	Sandvik	N123G1-030004S01025	Soustružení čela a R 1,5	
06	Sandvik	N123H1-040004S01025	Hrubování	

Pozice T	Výrobce	Označení	Použití	Obrázek
04	Walter	CCMW 060204-2 WCB30	Soustružení ø 8 mm, ø 16 mm	
05	Walter	CCMV 060204-2 WCB50	Hrubování	
10	Walter	GX16-1E250N020-CE4 WSP43	Upichování	

Tab. 15 Navržené frézy a navrtávky pro obrábění dílce Kulový čep [33, 36].

Pozice T	Výrobce	Označení	Použití	Obrázek
33, 37	Applitec	2680-6-90-MD TiAlN	Navrtání	
01	Walter	H3071118 -10 4 zuby	Frézování šestihranu	

9 DISKUZE

Zušlechťená ocel s tvrdostí cca 50 HRC je běžnými nástroji ze slinutého karbidu obrobitelná pouze při nízkých řezných rychlostech, což se negativně projevuje v produktivitě obrábění. Vhodná řešení jsou celkem dvě. Obrábění oceli ve stavu žíhaném na měkko a následném zušlechťení nebo volbou řezných nástrojů z CBN nebo z řezné keramiky.

Obrábění oceli vhodné k zušlechťení, která je ve stavu žíhaném na měkko, kdy je tvrdost materiálu pouze cca 220 – 240 HB, odstraní veškeré problémy spojené s obráběním tvrdých materiálů. Přibude zde ale nutnost další operace (zušlechťení), která musí být provedena v kooperaci.

Obrábění zušlechťené oceli realizované pomocí CBN umožňuje v porovnání s nástroji ze slinutých karbidů podstatně zvýšit produktivitu obrábění. Nevýhodou nástrojů z CBN je především vysoká pořizovací cena nástrojů (cena VBD s jedním břitem je cca 1000 Kč, se dvěma břity cca 1300 Kč) a také zvýšený požadavek na stabilitu stroje a jeho výkon. Problém může nastat také při chlazení řezného procesu, kdy je upřednostňováno suché obrábění. V případě použití chladicí kapaliny by se mělo jednat o speciální řezné emulze. Ve společnosti Decoleta, a.s. je však k chlazení řezného procesu používán výhradně řezný olej, který je pro obrábění pomocí CBN nepoužitelný.

V případě dílce Kolík probíhá obrábění na stroji Tornos Deco 13, což vzhledem k průměrnému stáří těchto strojů cca 14 let není příliš vhodná volba. Mnohem lépe se jeví stroje Star SR-20 nebo stroje Manurhin, u nichž je stáří většiny strojů do tří let. Tyto stroje mají navíc díky své konstrukci mnohem vyšší stabilitu obráběcího procesu a také mnohem lepší možnosti vysokotlakého chlazení. Vysokotlaké chlazení je především u strojů Star SR-20RIV, na velice vysoké úrovni. CNC program pro stroj Deco 13 je vytvářen ve speciálním software TB Deco a nelze ho použít pro stroje jiných značek. V příloze je obsažen CNC program vytvořený pro nástroje z CBN použitelný pro stroj Star SR-20RIV a také výkresová dokumentace určená k tomuto programu vytvořená ve studentské verzi softwaru Autodesk AutoCAD 2014. Pro zvýšení trvanlivosti nástrojů je v programu při soustružení používána konstantní řezná rychlost. Řezné podmínky použité v tomto programu byly vybrány z rozmezí udávaným výrobcem nástrojů. Toto rozmezí je však velice široké, proto při nasazení nástrojů z CBN bude s největší pravděpodobností nutné tyto řezné podmínky dodatečně upravit.

Vzhledem k rozptylu prokalitelnosti jednotlivých zušlechťitelných ocelí, kdy například u oceli 1.7220 \varnothing 13 mm po zušlechťení naměříme v blízkosti povrchu tvrdost v rozmezí 57 – 49 HRC, ale v jádře pouze 53 – 36 HRC, může v krajním případě docházet k rychlému opotřebení nástrojů z CBN vlivem nedostatečné tvrdosti materiálu. Při použití CBN by tvrdost neměla klesnout pod 45 HRC, proto by měl být používán výhradně materiál se zaručenou tvrdostí vyšší než je tato hodnota. V úvahu také připadá vhodná kombinace nástrojů z CBN a nástrojů z SK. [39]

Další možností je použití řezné keramiky. Destičky z tohoto řezného materiálu lze pořídit za mnohem příznivější cenu než v případě CBN, pohybuje se na úrovni cen VBD ze slinutého karbidu. Nevýhodou však je vysoký požadavek na výkon stroje a jeho technický stav. Také je důležitá stabilita obráběcího procesu, kdy může dojít k nečekané destrukci destičky lomem, a tím ke kolizi obráběcího stroje. Z těchto důvodů jsou zde upřednostněny nástroje z CBN.

ZÁVĚRY

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku obrábění tvrdých materiálů na dlouhotočných soustružnických automatech ve společnosti Decoleta, a.s.

Hlavní výstupy bakalářské práce:

- nízkolegované oceli vhodné k zušlechtění přednostně obrábět ve stavu žíhaném na měkko a zušlechtění provádět až následně, jako další operaci,
- k obrábění tvrdých materiálů využívat nástroje ze speciálně vyvinutých rezných materiálů (především z kubického nitridu bóru),
- v případě obrábění tvrdých materiálů pomocí nástrojů ze slinutého karbidu používat extrémně nízké řezné rychlosti,
- stroje pro obrábění tvrdých materiálů musí splňovat podmínku maximální stability obráběcího procesu.

U obrábění zušlechtěných ocelí byly navrženy vhodné nástroje z CBN pro výrobu dílců Kolík a Kulový čep. V případě součásti Kolík byla přepracována technologie výroby na modernější a stabilnější stroj. Technická dokumentace a CNC program jsou obsaženy v příloze této práce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DECOLETA, A.S. *Aktuality ve firmě* [online]. [vid. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.decoleta.cz/9-aktuality-ve-firme.html>
2. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857s. Přeloženo z: *Modern Metal Culling – A Practical Handbook*. ISBN 91-972299-4-6.
3. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1996. 261s. ISBN 80-85867-95-8.
4. PTÁČEK, Luděk a kolektiv. *Nauka o materiálu II*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 392s. ISBN 80-7204-248-3.
5. VERLAG DASHÖFER. *Lexikon kovů 2.1* [software]. [přístup 25. února 2016]. Dostupné z: <http://www.dashofer.cz/software/lexikon-kovu-se-zahranicnimi-ekvivalenty-productlkv/>. Požadavky na systém: PC Windows 2000, XP, Vista, 7, 8, 10; 32 MB RAM; 500 MB místa na disku.
6. MM průmyslové spektrum. *Proč dlouhotočný automat* [online]. 2007 roč. 2007, č. 12 [vid. 2015-01-30]. Dostupné z: www.mmspektrum.com/clanek/proc-dlouhotocny-automat.html
7. INTEREMPRESAS. *NC automática, de un solo eje tornos de cabezal móvil DECO 13a* [online]. [vid. 2016-02-21]. Dostupné z: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/948/tornos-deco13a-uk.pdf
8. STAR MICRONICS CO., LTD. *SR-10J type C* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.star-m.jp/eng/products/lathe/la22.html>
9. STAR MICRONICS CO., LTD., *SB-16R/20R type C* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.star-m.jp/eng/products/lathe/la34.html>
10. STAR MICRONICS CO., LTD. *SR-20RIV* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.star-m.jp/eng/products/lathe/la39.html>
11. DIRECT INDUSTRY. *Single Spindle DECO 7/10a* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://pdf.directindustry.com/pdf/tornos/single-spindledeco-7-10a/5100-85969.html>
12. DIRECT INDUSTRY. *DECO 20a* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://pdf.directindustry.com/pdf/tornos/deco-20a/5100-327547.html>
13. DIRECT INDUSTRY. *Gamma 20* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://pdf.directindustry.com/pdf/tornos/gamma-20/5100-473509.html>
14. TAJMAC – ZPS, A.S. *KMX 532 TREND* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: www.tajmac-zps.cz/sites/tajmac-zps-2.os.zps/files/kmx532trend_cz.pdf
15. TAJMAC – ZPS, A.S. *KMX 723 EVO* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: www.tajmac-zps.cz/sites/tajmac-zps-2.os.zps/files/kmx732evo_cz.pdf
16. DECOLETA, A.S. *Firemní materiály* [intramet]. [vid. 2016-03-10].
17. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2008. 226s. ISBN 80-214-2374-9.

18. SANDVIK COROMANT. *ISO P oceli* [online]. [vid. 2016-03-02]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_p_steel/pages/default.aspx
19. SANDVIK COROMANT. *Skupiny obráběných materiálů* [online]. [vid. 2016-03-02]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/workpiece_material_groups/pages/default.aspx
20. SANDVIK COROMANT. *ISO H Tvrzená ocel* [online]. [vid. 2016-03-02]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_h_hardened_steel/pages/default.aspx
21. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. 1. vyd. Praha: MM Publishing, 2008. 235s. ISBN 978-80-254-2250-2.
22. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2011. 332s. ISBN 978-80-7204-722-2.
23. MM průmyslové spektrum. *EMO Hannover 2013, část 3 – řezné nástroje* [online]. 2013 roč. 2013, č. 11 [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/emo-hannover-2013-cast-3-rezne-nastroje.html>
24. TECH MAGAZÍN. *Inveio posouvá hranice obrábění kovů* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/1810>
25. SANDVIK COROMANT. *Cermet* [online]. [vid. 2016-03-02]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/cermet/pages/default.aspx
26. VIRIAL. *Cermets* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.virial.ru/en/materials/instrument/365/>
27. WALTER TOOLS. *Ceramic ISO – S* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: http://www.walter-tools.com/en-gb/tools/standard_products/Turning/overview/iso_turning/ceramic-iso-s/Pages/default.aspx
28. SECO TOOLS. *Secomax™ CBN600* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/de/Global/Products/Advanced-cutting-materials/PCBN/Secomax-CBN600/>
29. SECO TOOLS. *Sorte CBN010 - für den universellen Einsatz* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/de/Global/Products/Advanced-cutting-materials/PCBN/Secomax-CBN010/>
30. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
31. HOFFMAN GROUP. *Garant Machining Handbook* [online]. [vid. 2016-03-23]. Dostupné z: https://www.hoffmann-group.com/medias/sys_master/root/h3a/hbb/8796191359006/ZHB.pdf?attachment=true
32. SLIDEPLAYER. *Fyzikální základy procesu řezání, tvorba třísky, tvorba povrchů* [online]. [vid. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3106173/>

33. APPLITEC SWISS TOOLING - MOUTIER. *Applitec Swiss Tooling 2015 – 2017* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: www.applitec-tools.com/images/stories/downloads/applitec%202015-2017%20web%20boutons.pdf
34. ARNO. *Turning – Complete catalogue* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: www.arno-tools.co.uk/uploads/media/ARNO_Turning_02.pdf
35. ISCAR ELECTRONIC CATALOG. *Groove Turn* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=6080115&fnum=3287 &mapp=TG&app=0&GFSTYP=M>
36. WALTER TOOLS. *General Catalogue 2012* [online]. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z: www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/general-catalogue-2012-cz.pdf
37. SANDVIK COROMANT. *Soustružnická příručka* [online]. [vid. 2016-03-20]. Dostupné z: www.sandvik.coromant.com/_layouts/15/tibp/downloadhandler.ashx?url=http://gen-sandvik.ecbook.se/eccatalogues/download/250/?lt=false&fileName=Soustru%C5%BEnick%C3%A1%20p%C5%99%C3%ADru%C4%8Dka
38. SANDVIK COROMANT. *Soustružnické nástroje 2015* [online]. [vid. 2016-03-17]. Dostupné z: www.sandvik.coromant.com/_layouts/15/tibp/downloadhandler.ashx?url=http://gen-sandvik.ecbook.se/eccatalogues/download/600/?lt=false&fileName=Soustru%C5%BEnick%C3%A9%20n%C3%A1stroje%202015
39. BOLZANO. *Přehled vlastností ocelí 34CrMo4* [online]. [vid. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-34crmo4>
40. BOLZANO. *Přehled vlastností ocelí 42CrMo4* [online]. [vid. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-42crmo4>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
Al_2O_3	[-]	oxid hlinitý
C	[-]	uhlík
CBN	[-]	kubický nitrid bóru
CNC	[-]	číslicové řízení pomocí počítače (Computer Numerical Control)
Co	[-]	kobalt
Cr	[-]	chrom
ČSN	[-]	česká technická norma
EN	[-]	evropská norma
HB	[-]	tvrdost dle Brinella
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
ISO	[-]	mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem (International Organization for Standardization)
KNB	[-]	kubický nitrid bóru
Mn	[-]	mangan
Mo	[-]	molybden
NbC	[-]	karbid niobu
OK	[-]	otvor klíče
P	[-]	fosfor
PKNB	[-]	polykrystalický kubický nitrid bóru
QT	[-]	kaleno a popuštěno (Quenched and Tempered)
R	[-]	rádus
S	[-]	síra
Si	[-]	křemík
SK	[-]	slinutý karbid
T	[-]	označení nástrojové pozice
TaC	[-]	karbid tantalu
TiC	[-]	karbid titanu
TiCN	[-]	karbonitrid titanu
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
WC	[-]	karbid wolframu

Symbol	Jednotka	Popis
A₅	[%]	tažnost
D	[mm]	obrobený průměr
KV	[J]	nárazová práce
R_a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
a_p	[mm]	šířka záběru ostří nástroje
d	[mm]	průměr tyče
f	[mm]	posuv na otáčku
n	[min ⁻¹]	otáčky
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list oceli 1.7220
Příloha 2	Materiálový list oceli 1.7225
Příloha 3	Specifikace stroje Star SR-20RIV
Příloha 4	Specifikace stroje Manurhin KMX 732 EVO
Příloha 5	CNC program pro výrobu součásti Kolík na stroji Star SR-20RIV se systémem Fanuc 32 Model B
Příloha 6	Výrobní výkres součásti Kolík
Příloha 7	Výrobní výkres součásti Kulový čep
Příloha 8	Výkres pro vytvoření CNC programu součásti Kolík
Příloha 9	Nástrojový plán pro CNC program dílce Kolík

PŘÍLOHA 1

MATERIÁLOVÝ LIST OCELI 1.7220 [39]

Přehled vlastností oceli 34CrMo4 (34CrMoS4)																	1.7220 (1.7226)	
Druh oceli	Nizkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování																	
TDP	ČSN EN 10083-3: 2007																	
Dřívější označení	34CrMo4 (34CrMoS4) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 34CrMo4 (34CrMoS4) podle DIN 17200; 15131 podle ČSN.																	
Použití	Ocel se střední prokalitelností pro středně namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 50 HRC. V zušlechťeném stavu dosahuje středních hodnot pevnosti, meze kluzu a houževnatosti. Není náchylná k popouštěcí křehkosti. Je obtížně svařitelná a náchylná k vychlázovacím trhlinám po tváření za tepla iniciovaných zejména vruby a povrchovými vadami.																	
Chemické složení v % hmot. (rozběr tavby) ²⁾	C	Si	Mn		P		S ¹⁾		Cr		Mo		Ni	V				
	0,30 – 0,37	max. 0,40	0,60 – 0,90		Max. 0,035		max. 0,035		0,90 – 1,20		0,15 – 0,30		-	-				
Složení hotového výrobku	0,28 – 0,39	max. 0,43	0,56 – 0,94		max. 0,040		max. 0,040		0,85 – 1,25		0,12 – 0,33		-	-				
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. ³⁾	Průměr mm		R _e min. MPa			R _m MPa			A min. %			Z min. %			KV min. J			
	d ≤ 16		800			1000 - 1200			11			45			35			
	16 < d ≤ 40		650			900 - 1100			12			50			40			
	40 < d ≤ 100		550			800 - 950			14			55			45			
	100 < d ≤ 160		500			750 - 900			15			55			45			
	160 < d ≤ 250		450			700 – 850			15			60			45			
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost								Žíhaný na měkko									
	HB max. 255								HB max. 223									
Prokalitelnost ⁴⁾	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm																	
	⁵⁾	Mez	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	
	+H	max.	57	57	57	56	55	54	53	52	48	45	43	41	40	40	39	
		min.	49	49	48	45	42	39	36	34	30	28	27	26	25	24	24	
	+HH	max.	57	57	57	56	55	54	53	52	48	45	43	41	40	40	39	
		min.	52	52	51	49	46	44	42	40	36	34	32	31	30	29	29	
	+HL	max.	54	54	54	52	51	49	47	46	42	39	38	36	35	35	34	
		min.	49	49	48	45	42	39	36	34	30	28	27	26	25	24	24	

Popouštěcí křívka (referenční vzorek pr. 30 mm)

Křívky prokalitelnosti

Technologické vlastnosti							
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 850 °C						
	Normalizační žihání °C	Žihání na měkko °C	Isotermické žihání °C	Teplota kalení °C	Kalící prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C
	850 až 890	680 až 720	810 až 920 670 - 2 hod.	830 až 870	olej nebo voda	540 až 680	850 ± 5
Tepelné zpracování	Uvedené podmínky jsou doporučené s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.) Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při střední a horní hranici při kalení do oleje. Jako kalící prostředí se s ohledem na náchylnost ke kalícím trhlinám doporučují syntetické polymery a olej. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťení u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žihání před zušlechťením. Body přeměny : A _{c1} = 745°C, A _{c3} = 800°C, M _s = 300°C						
Obrobitelnost	Obrábí se ve stavu žíhaném na měkko. Při nižších pevnostech lze obrábět i ve stavu zušlechťeném. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 34CrMoS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které mají být zušlechťeny na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žíhaném a dokončí po zušlechťení.						
Stříhatelnost	Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žíhá nebo řízeně vychlazuje.						

¹⁾ obsah síry u oceli 34CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

²⁾ u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

³⁾ uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP. R – mez kluzu, R_m – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční délka L₀ = 5,65√S₀), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

⁴⁾ pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

⁵⁾ +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH - zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici.

PŘÍLOHA 2

MATERIÁLOVÝ LIST OCELI 1.7225 [40]

Přehled vlastností oceli 42CrMo4 (42CrMoS4)																1.7225 (1.7227)	
Druh oceli	Nizkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování																
TDP	ČSN EN 10083-3: 2007																
Dřívější označení	42CrMo4 (42CrMoS4) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 42CrMo4 (42CrMoS4) podle DIN 17200, 15 142 podle ČSN																
Použití	Ocel s vyšší prokalitelností pro výše namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 58 HRC. Do průměru 100 mm lze po zušlechťování docílit pevnosti nad 1000 MPa při ještě dostatečné houževnatosti. Není náchylná k popouštění křehkosti. Kalí se do méně razantního kalicího prostředí, poněvadž je náchylná ke vzniku kalických trhlin v místech s vrubovým účinkem nebo povrchových vad. V kaleném stavu dobře odolává opotřebení. Patří k nejčastěji používané oceli k zušlechťování.																
Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S max. ¹⁾	Cr	Mo	Ni	V								
	0,38 – 0,45	max. 0,40	0,60 – 0,90	max. 0,025	max. 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	-	-								
Složení hotového výrobku ²⁾	0,36 – 0,47	max. 0,43	0,56 – 0,94	max. 0,030	max. 0,040	0,85 – 1,25	0,12 – 0,33	-	-								
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. ³⁾	Průměr mm		R _e min. MPa		R _m MPa		A min. %		Z min. %		KV min. J						
	d ≤ 16		900		1100 - 1300		10		40		-						
	16 < d ≤ 40		750		1000 - 1200		11		45		35						
	40 < d ≤ 100		650		900 - 1100		12		50		35						
	100 < d ≤ 160		550		800 - 950		13		50		35						
	160 < d ≤ 250		500		750 - 900		14		55		35						
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost				Žiháno na měkko				Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)								
	HB max. 255				HB max. 241				HRC min. 53								
Prokalitelnost ⁴⁾	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm																
	Tvrdost v HRC																
	⁵⁾	Mez	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
	+H	max.	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
		min.	53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29
	+HH	max.	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
		min.	56	56	55	54	52	48	46	44	41	39	38	36	36	35	34
	+HL	max.	58	58	58	57	56	54	53	51	49	46	44	42	41	40	40
		min.	53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 30 mm)

MPa

Teplota popouštění

— R_m

— Rp_{0,2}

Křivky prokalitelnosti

Tvrdost v HRC

Vzdaľenost od kaleného čela

— H max HH max

— H min HL min

— HH min

— HL max

Technologické vlastnosti							
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 850 °C						
Teplné zpracování	Normalizační žihání °C	Žihání na měkko °C	Isotermické žihání °C	Teplota kalení °C	Kalící prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C
	850 až 880	680 až 720	800 až 900 670 - 3 hod.	820 až 860	olej nebo voda	540 až 680	850 ± 5
	Uvedené podmínky jsou doporučené s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.) Jako kalící prostředí se s ohledem na náchylnost ke kalickým trhlinám doporučují syntetické polymery a olej. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťování u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žihání před zušlechťováním. Body přeměny : A _{C1} = 745°C, A _{C3} = 790°C, M _s = 300°C						
Obrobitelnost	Obrábí se ve stavu žíhaném na měkko. Při nižších pevnostech lze obrábět i ve stavu zušlechťeném. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 42CrMoS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které se zušlechťují na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žíhaném a dokončí po zušlechťování.						
Stříhatelnost	Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žihá nebo řízeně vychlazuje.						

¹⁾ obsah siry u oceli 42CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

²⁾ u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

³⁾ uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťování) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.

R_e – mez kluzu, R_m – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční délka L₀ = 5,65√S₀), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

⁴⁾ pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

⁵⁾ +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH – zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici.

PŘÍLOHA 3

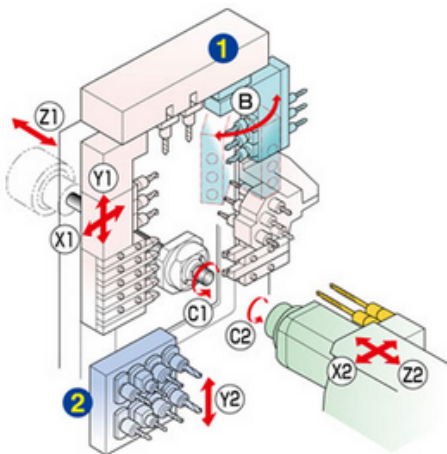
SPECIFIKACE STROJE STAR SR-20RIV [10]

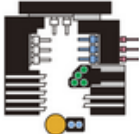

Specifications		
Item		SR-20RIV
Max.machining diameter		ø20mm (25/32in)
Max.headstock stroke	Standard	205mm (8in)
	N.G.B.type	Bar diameter × 2.5 (max.50mm) (max.1-31/32in)
Number of turning tools		5 tools on the front + 2tools on the rear(±12mm)
4-Spindle sleeve holder	Number of tools	Front : 4 tools Rear : 4 tools
	Max.drilling capability	ø12mm (1/2in)
	Max.tapping capability	M10 × P1.5
2-spindle front sleeve holder	Number of tools	2 tools
	Max.drilling capability	ø10mm (25/64in)
	Max.depth of hole	100mm(3-15/16in)
Power-driven att.	Number of tools	Cross milling : 3 tools Cartridge type : At 2 position
	Number of tools [typeA]	Adjustable angle power-driven tool At 1 posision (Front 3 tools+Rear 3 tools)
	Number of tools [typeB]	Power-driven tool with B axis At 1 posision (Front 3 tools+Rear 3 tools)
	Max.drilling capability	ø10mm (25/64in)
	Max.tapping capability	M8 × P1.25
	Spindle speed	max. 8,000min ⁻¹
	Drive motor	2.2kw
Rapid feed rate		35m/min(X1,Y1,Z1,X2,Z2) , 15m/min(Y2)
Main spindle indexing angle		C-axis control
Main spindle speed		max.10,000min ⁻¹
Main spindle motor		2.2kw(Continuous) / 3.7kw(10min./25%ED)
Dimensions(W×D×H)		2,334 × 1,200 × 1,695mm
Weight		2,600kg
Power consumption		4.7KVA

Backworking Attachment Specifications

Item			SR-20RIV
Max.chucking diameter			ø20mm (25/32in)
Max.length for front ejection			80mm (3-5/32in)
Max.work projection length			30mm (1-3/16in)
8-spindle backworking unit	Number of tools		8 tools
	Max.drilling capability	Stationary tool	ø12mm (1/2in)
		Power-driven att.	ø6mm (15/64in)
	Max.tapping capability	Stationary tool	M10 × P1.5
		Power-driven att.	M5 × P0.8
Sub spindle indexing angle			C-axis control
Sub spindle speed			max.10,000min ⁻¹
Sub spindle motor			2.2kw(Continuous) / 3.7kw(10min./25%ED)

Tool Post



Tool Post		Tooling	
①		Turning tool	7 tools
		Front-end working tool	6 tools
		Rear-end working tool	4 tools
		Cross milling tool	3 tools
		Cartridge type Power-driven tool	2Pos.
		Adjustutable angle power-driven tool	1 Pos. (Front 3 tools +Rear 3 tools) *typeA
		Power-driven tool with B-axis	1 Pos. (Front 3 tools +Rear 3 tools) *typeB
②		Back working tool	8 tools
		Stationary tool	max.8 tools
		Power-driven tool	max.8 tools

PŘÍLOHA 4

SPECIFIKACE MANURHIN KMX 732 EVO [15]

Parametry stroje

Maximální průměr tyče - hlavní vřeteno	Ø 32 mm
Maximální délka obrábění na jeden zdvih	400 mm
Vrtání hlavního vřetene	Ø 37 mm
Výkon A.C. motoru (100/40%) hlavního vřetene	15 / 25 KW
Maximální otáčky	8000 ot/min
Směr otáčení vřetene	vlevo i vpravo
Zdvih hlavního vřeteníku	410 mm
Rychloposuv	30 m/min
Počet nástrojových desek	2
Zdvih nástrojových desek - horizontální	45 mm
Rychloposuv	30 m/min
Zdvih nástrojových desek - vertikální	180 mm
Rychloposuv	30 m/min
Zdvih osově nástrojové desky - vertikální	260 mm
Rychloposuv	30 m/min
Počet nástrojů	(2 x 5) + (2x4)
Rozměr nástroje pro externí obrábění	16 x 16 mm
Zdvih sekundárního vřeteníku	300 mm
Rychloposuv	30 m/min
Maximální průměr tyče – sekundární vřeteno	Ø 32 mm

Maximální délka dílce uvnitř sekundárního vřetene pro přední odebrání	150 mm
Maximální délka dílce pro vyhození dílce dopředu	170 mm
Vrtání sekundárního vřetene	Ø 37 mm
Maximální otáčky sekundárního vřetene	10000 ot/min
Výkon A.C. motoru (100/40%) sekundárního vřetene	3,7 / 5,5 KW
Vyvádění dílce středem sekundárního vřetene (pro dílec s maximálním Ø 26 mm)	Volitelné
Tlak vzduchu	0,6 MPa
Připojovací spojka "Banjo"	Ø 10 mm
Objem nádrže	300 l
Průtok	100 l / min
Tlak čerpadla chlazení	0,7 MPa
Napětí	3 x 400 V - 50 Hz
Příkon	32 kVA
Průměr vodiče	16 mm ²
Obvodové pojistky	63 A
ROZMĚRY STROJE	3000x1370x2200 mm
HMOTNOST STROJE	4400 kg



PŘÍLOHA 10

CNC PROGRAM PRO VÝROBU SOUČÁSTI KOLÍK NA STROJI STAR SR-20RIV SE SYSTÉMEM FANUC 32 MODEL B

HLAVNÍ OPERACE

%

O0090(KOLIK)

(HEAD1)

(NASTROJE Z CBN)

(09.03.2016)

#531=12.7(D MATERIALU)

#530=44.8(CELKOVA DELKA)

#529=1800(S PRO UPICH)

#511=0.05(F PRO UPICH)

#528=2.5(SIRKA UPICHOVAKU)

#500=[#531+1.0](0.5 MM NAD MATERIAL)

#501=0.0(KOREKCE DELKY SOUSTRUZENI PR. 7.25)

(+ PRODLOUZIT – ZKRATIT)

G0G99G80G40G97M09M5(STANDART)

G50S8000(OMEZENI OTACEK)

M38(POHANENE NASTROJE OFF)

G0T0(ZRUSENI KOREKCI)

M98P6020(UPICH)

N0(PROGRAM START)

G99G97G40M09(STANDART)

M3S500(OTACKY ON)

M11(OTEVRENI KLESTINY)

G4U0.2(PRODLEVA)

G0T0Z-0.2(PRIDAVEK NA ZAROVNANI 0.2)

G4X0.1(PRODLEVA)

M10(ZAVRENI KLESTINY)

G4X0.2(PRODLEVA)

G0W-12.0X#500(ODJEZD)

M27(KONTROLA UPICHOVAKU)

M200(CEKANI NA H2)

M20(START CYKLU)

/M25(CHLAZENI ON)

/M1001(VYSOKOTLAK T1-T5 ON)

/M1002(VYSOKOTLAK T11-T16 ON)

N10(ZAROVNANI CELA)

T200

G50S7000(OMEZENI OTACEK)

G96S200M03(KONST. REZ. RYCHLOST ON)

G0G99X#500Z0.0T2

M1

G1X-0.4F0.05

G0Z-1.0

G0T0

M1

N20(HRUBOVANI)

T1100

G50S6000(OMEZENI OTACEK)

G96S130M03(KONST. REZ. RYCHLOST ON)

G0G99X#500Z-1.0T11

M1

G0X10.7

G1Z20.15F0.1

G1X13.67Z22.9

G0Z-1.0

G0X6.95

G1X8.7Z0.77F0.1

G1Z20.15

G1X12.17Z22.9

G1X#531

G1Z24.0

G0X#500

G0T0

M1

N30(SOUSTRUZENI D 7.25)

T1200

G50S6000(OMEZENI OTACEK)

G96S220M03(KONST. REZ. RYCHLOST ON)

G0G99X#500Z-1.0T12

M1

G0G41X4.99

G1X7.3Z1.0F0.05

G1Z[20.38+#501]

G1X9.05Z[21.9+#501]

G1X10.0

G0G40X#500

G0T0
M1

M1012(VYSOKOTLAK T11-T16 OFF)
N40(HRUBOVANI)
T300
G50S6000(OMEZENI OTACEK)
G96S130M03(KONST. REZ. RYCHLOST ON)
G0G99X#500Z21.9T3
M1
G0X10.6
G1Z24.4F0.1
G1X11.35
G1Z28.5
G1X14.7Z31.39
G0X#500
G0Z21.9
G1X8.9F0.1
G1Z24.4
G1X#531
G0X#500
G0T0
M1

N50(SOUSTRUZENI D 7.9 A D 9.35)
T400
G50S6000(OMEZENI OTACEK)
G96S220M03(KONST. REZ. RYCHLOST ON)
G0G99X#500Z19.9T4
M1
G0G41X7.9F0.05
G1Z24.9
G1X9.05
G1X11.05Z25.9
G0Z23.9
G0X9.35T7
G1Z28.77F0.05
G1X12.27Z31.28
G1G40X#500
G0T0
M1

N60(ZAPICH)
T500
G50S6000(OMEZENI OTACEK)
G96S200M03(KONST. REZ. RYCHLOST ON)
G0G99X#500Z26.05T5
M1
G0G41X11.35

G1X8.47Z27.49F0.05
G3X8.0Z28.1R0.8
G3X9.5Z28.9
G1X11.0
G0G40X#500
G0T0
M1

N70(SOUSTRUZENI D 11.1)
T400
G50S6000(OMEZENI OTACEK)
G96S200M03(KONST. REZ. RYCHLOST ON)
G0G99X#500Z29.28T6
M1
G0X11.1
G1Z[44.8+0.5+#528]F0.1
G1X#531
G1W1.0
G0X#500
G0T0
M1

N100(UPICHNUTI)
M900(SYNCHRONIZACE H1 A H2)
T100
G50S6000(OMEZENI OTACEK)
G96S70M03(KONST. REZ. RYCHLOST ON)
G18
G0G99X#500Z[#530+#528+0.2]T1
M82(SYNCHRO-CEKA NA HLAVU 2)
M40(Z-ZB SYNCHRO+CEKA NA HLAVU 2)
G1X2.0F#511
G1X0.5[#511*0.25]
/M1011(VYSOKOTLAK T1-T5 OFF)
M41(Z+ZB SYNCHRO OFF A CEKA HLAVA2)
M83(SYNCHRO VRET.OFF A CEKA H.2)
M80(KONTROLA KONCE TYCE)
/M98P7020(PODPROGRAM VYMENY TYCE)
M81(KONTROLA OFF)
GOTO0
M99
%

PROTIOPERACE

%

O0090(KOLIK)

(HEAD2)

(09.03.2016)

G99G97G80(STANDARD)

M5(OTACKY OFF)

G0G40(KOMPENZACE SPICKY OFF)

G0T0(ZRUSENI KOREKCI)

G28W0.0(NAJEZD NA REF, NUL.KOREKCE)

G50Z0.0(RUSENI POS. BODU)

G50S8000(OMEZENI OTACEK)

G130(ZRUSENI SYS. SOUR.)

T2000(NAJEZD PRED VRETENO)

M58(POH. NASTROJE OFF)

M200(CEKA NA H1)

M20(START CYKLU)

M75

/M1004(VYSOKOTLAK Z4 ON)

/M1006(VYSOKOTLAK T21-T24 ON)

N10(SRAZENI HRANY)

/T2100

/G50S6000(OMEZENI OTACEK)

/G96S130M04

/G22Z70.0

/G50X0.0Z-10.0

/G0G99X-13.1Z-1.0T21

/M1(NASTAVIT NA 1 MM DESTICKU)

/G0Z2.38

/G1G42X-12.03F0.2

/G1X-8.88Z-1.0F0.05

/G0G40X-13.1

/G96S200M04

/G0Z0.0T23

/G1X0.8F0.05

/G0Z-10.0

/G0T0

/G97

/G28W0.0

/G50Z0.0

/M1

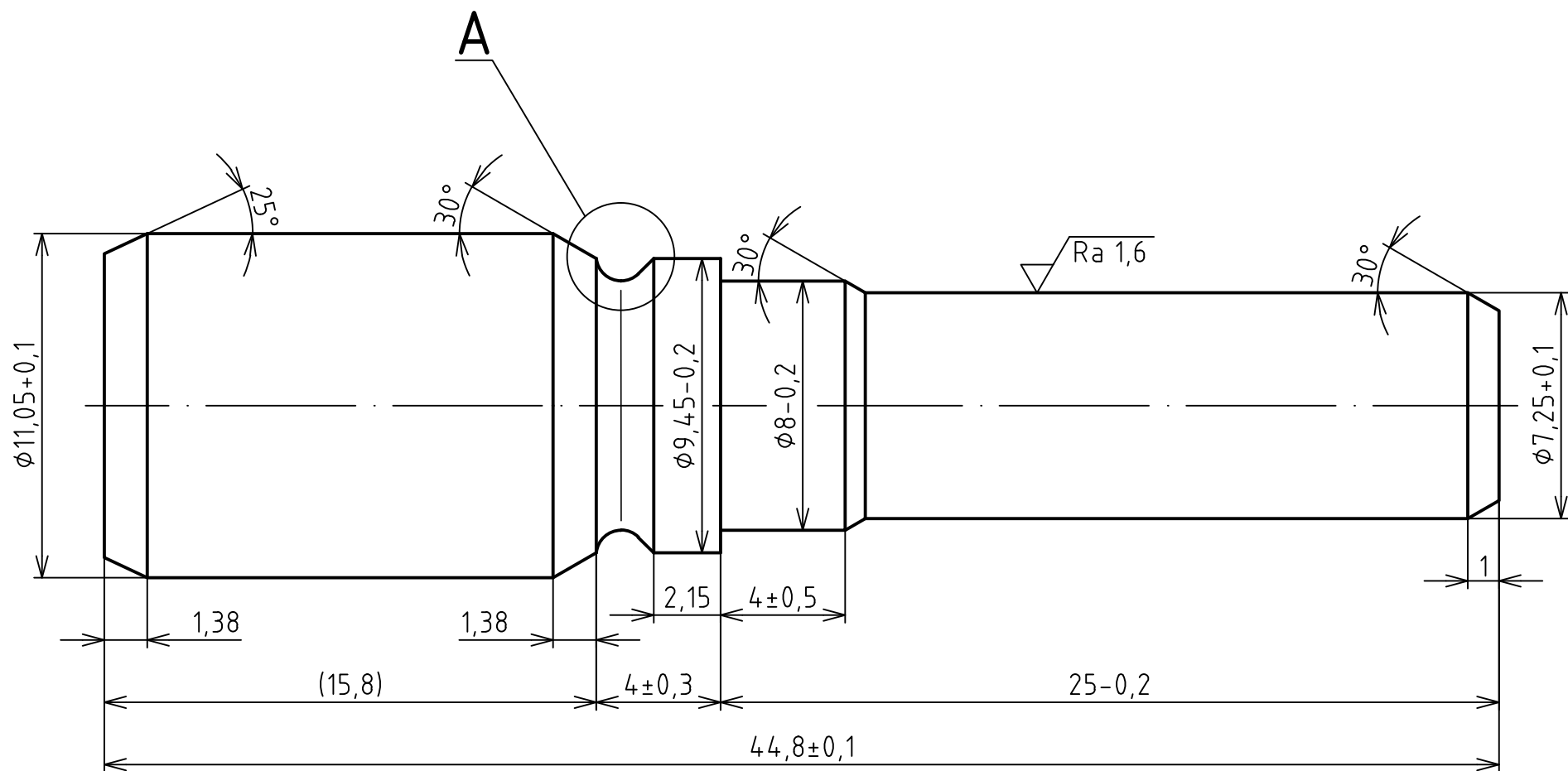
M76

M1014(VYSOKOTLAK Z4 OFF)
M1016(VYSOKOTLAK T21-T24 OFF)

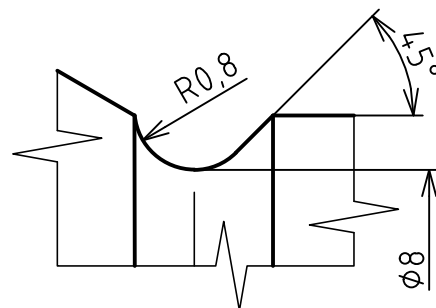
N50(VYHOZENI KUSU)

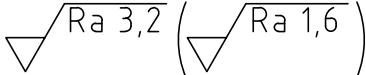
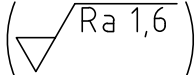
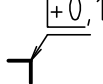
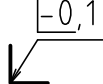


M5(OTACKY VYPNUTY)
T2900(POZICE NA VYHOZ)
M14(VYFUK ON)
G22Z70.0(POSUNUTI DOJEZDU OSY Z)
G0Z50.0(PRIJEZD KE SBERACI)
M11(OTEVRENI KLESTINY)
G4U2.0(PRODLEVA)
M84(DOPRAVNIK KUSU ON)
G28W0.0(NAVRAT NA REF.)
M27(KONTROLA VYHOZENI KUSU)
M15(VYFUK OFF)
T2000(NAJEZD K VRETENU)
M20(CEKA JEN H2)

N100(UPICHNUTI)
G0G98(POSUV ZA MINUTU)
T2000(ODEBIRACI POZICE)
M900(SYNCHRONIZACE H1 A H2)
G97M4S2000(KONST. REZ. RYCHLOST OFF)
M82(SYNCHRO OTACEK ON)
M11(OTEVRENI KLESTINY)
G4U0.2(PRODLEVA)
G131(SYSTEM SOURADNIC Z-ZB ON)
G0Z-5.0(NAJEZD PRED MATERIAL)
M68(LIMIT TOCIVEHO MOMENTU ON)
G1Z41.0F3000(DELKA UCHYTU HLAVY 2)
M69(LIMIT TOCIVEHO MOMENTU OFF)
M10(KLESTINA ZAVRENA)
G4U0.2(PRODLEVA)
M15(VYFUK OFF)
M40(SYNCHRO Z-ZB ON)
M41(SYNCHRO Z-ZB OFF)
M68(LIMIT TOCIVEHO MOMENTU ON)
G0G99W-20.0(ODEJZD OD VRETENE)
M69(LIMIT TOCIVEHO MOMENTU OFF)
M83(SYNCHRO OTACEK OFF)
G0T0(ZRUSENI KOREKCI)
G28W0.0M5(NAVRAT NA REF)
G130(SYSTEM SOURADNIC Z-ZB OFF)
M99
%

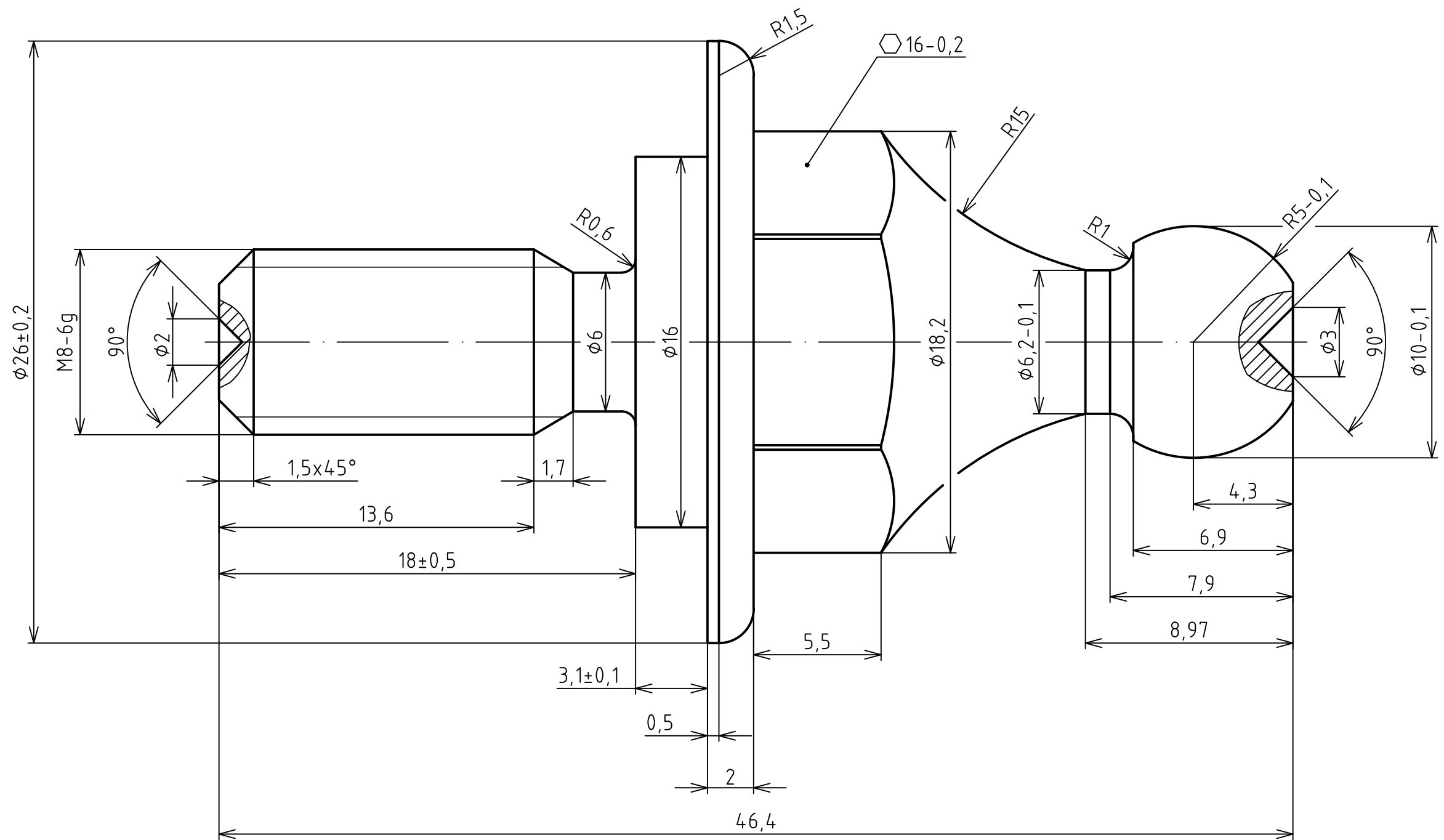


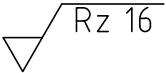
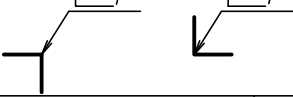


A (10:1)

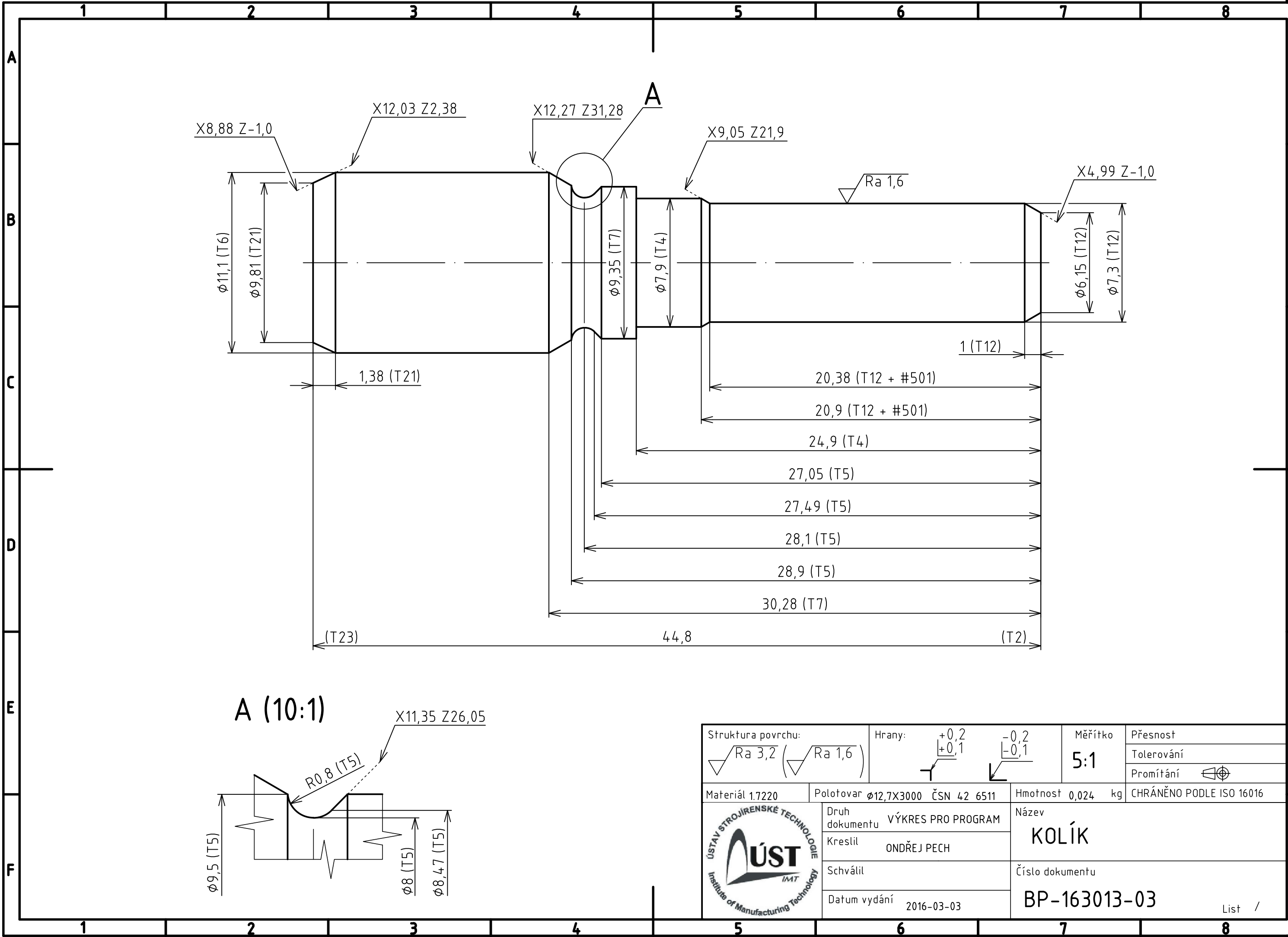








Struktura povrchu:  Ra 3,2 ( Ra 1,6)		Hrany:  $\begin{matrix} +0,2 \\ +0,1 \end{matrix}$  $\begin{matrix} -0,2 \\ -0,1 \end{matrix}$		Měřítko 5:1	Přesnost ISO2768-mK
					Tolerování ISO8015
					Promítání 
Materiál 1.7220	Polotovár $\varnothing 12,7 \times 3000$ ČSN 42 6511			Hmotnost 0,024 kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
	Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI			Název KOLÍK	
	Kreslil ONDŘEJ PECH				
	Schválil			Číslo dokumentu BP-163013-01	
	Datum vydání 2016-02-29				
List /					

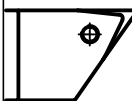
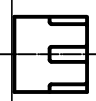
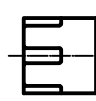
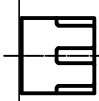
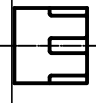
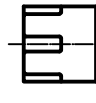
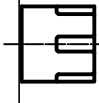
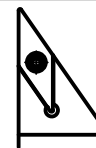


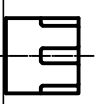
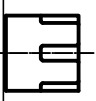











Struktura povrchu: 		Hrany: 		Měřítko 5:1	Přesnost ISO2768-mK
					Tolerování ISO8015
					Promítání 
Materiál 1.7225	Polotovar $\varnothing 30 \times 3000$ ČSN 42 6511			Hmotnost 0,041 kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
	Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI			Název	
	Kreslil ONDŘEJ PECH			KULOVÝ ČEP	
	Schválil				
	Datum vydání 2016-02-29				
				Číslo dokumentu	
				BP-163013-02	
					List /



Struktura povrchu:  Ra 3,2 ( Ra 1,6)		Hrany:  $\begin{matrix} +0,2 \\ +0,1 \end{matrix}$  $\begin{matrix} -0,2 \\ -0,1 \end{matrix}$	Měřítko 5:1	Přesnost
				Tolerování
				Promítání 
Materiál 1.7220	Polotovár $\varnothing 12,7 \times 3000$ ČSN 42 6511		Hmotnost 0,024 kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
 ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE IMT Institute of Manufacturing Technology	Druh dokumentu VÝKRES PRO PROGRAM		Název KOLÍK	
	Kreslil ONDŘEJ PECH			
	Schválil			
Datum vydání 2016-03-03		Číslo dokumentu BP-163013-03		List /

	1	2	3	4	5	6	7	8																																																					
A	NÁSTROJE V PROTIOPERACI - HORNÍ <div>DRŽÁK GRAF 12-1058 T2100 RHF.R.DC11J3.1.22S2.IK VBD WALTER DCMW 11T304-2 WCB50</div>		POHÁNĚNÉ NÁSTROJE <div>T900</div>		POHÁNĚNÉ NÁSTROJE - OTOČNÉ <div><div>T1900</div><div></div></div>																																																								
B	T2200		T800		T1800																																																								
C	T2300		T700		T1700																																																								
D	T2400		POHÁNĚNÉ NÁSTROJE <div>T3100</div>		ČELNÍ APARÁT <div><div>T1600</div><div></div></div>																																																								
E	NÁSTROJE V PROTIOPERACI - SPODNÍ T2500		T3200		T1500																																																								
F	T2600		LEVÝ NÁSTROJOVÝ HŘEBEN <div>DRŽÁK ARNO T500 SVAC R1212 X16-A VBD WALTER VBD VBMW 160404-2 WCB50</div>		T1400																																																								
	T2700		<div>DRŽÁK ARNO T400 SDAC R1212 M11 VBD WALTER DCMW 11T302 WCB30</div>		T1300																																																								
	T2800		DRŽÁK WALTER T300 SCLCR1212F06 VBD WALTER CCMV 060204-2 WCB50		PRAVÝ NÁSTROJOVÝ HŘEBEN <div>DRŽÁK WALTER T1200 SCLCR1212F06 VBD WALTER CCMV 060204-2 WCB30</div>																																																								
	NÁSTROJE PRO DLOUHÉ VRTÁNÍ <div>T4100</div>		DRŽÁK ARNO T200 CTFP R1212 F11 VBD WALTER TCMW 110204 WCB50		DRŽÁK WALTER T1100 SCLCR1212F06 VBD WALTER CCMV 060204-2 WCB50																																																								
	T4200 <div></div>		<div>DRŽÁK WALTER T100 G1011.1212L-2T8GX16 VBD WALTER GX16-1E200N020-CE4 WSP43</div>		STROJ STAR SR-20RIV KLEŠTINA ZÁSOBNÍKU $\phi 12,7$ MM KLEŠTINA HLAVNÍHO VŘETENÍKU $\phi 12,7$ MM KLEŠTINA VODÍČÍHO POUZDRA $\phi 12,7$ MM KLEŠTINA SEKUNDÁRNÍHO VŘETENÍKU $\phi 11,1$ MM MAXIMÁLNÍ PRŮMĚR VYHAZOVAČE 10,8 MM NA BŘITY PŘIVÉST VYSOKOTLAKÉ CHLAZENÍ																																																								
					<table><tr><td colspan="2">Struktura povrchu:</td><td colspan="2">Hrany:</td><td>Měřítko</td><td>Přesnost</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td><td>Tolerování</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td><td>Promítání </td></tr><tr><td colspan="2">Materiál 1.7220</td><td colspan="2">Polotovar $\phi 12,7$ X 3000 ČSN 42 6511</td><td>Hmotnost 0,024 kg</td><td>CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016</td></tr><tr><td rowspan="4"></td><td colspan="2">Druh dokumentu NÁSTROJOVÝ PLÁN</td><td colspan="3">Název</td></tr><tr><td colspan="2">Kreslil ONDŘEJ PECH</td><td colspan="3">KOLÍK</td></tr><tr><td colspan="2">Schválil</td><td colspan="3">Číslo dokumentu</td></tr><tr><td colspan="2">Datum vydání 2016-03-09</td><td colspan="3">BP-163013-04</td></tr><tr><td colspan="6"></td><td colspan="2">List /</td></tr></table>				Struktura povrchu:		Hrany:		Měřítko	Přesnost						Tolerování						Promítání 	Materiál 1.7220		Polotovar $\phi 12,7$ X 3000 ČSN 42 6511		Hmotnost 0,024 kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016		Druh dokumentu NÁSTROJOVÝ PLÁN		Název			Kreslil ONDŘEJ PECH		KOLÍK			Schválil		Číslo dokumentu			Datum vydání 2016-03-09		BP-163013-04									List /	
Struktura povrchu:		Hrany:		Měřítko	Přesnost																																																								
					Tolerování																																																								
					Promítání 																																																								
Materiál 1.7220		Polotovar $\phi 12,7$ X 3000 ČSN 42 6511		Hmotnost 0,024 kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016																																																								
	Druh dokumentu NÁSTROJOVÝ PLÁN		Název																																																										
	Kreslil ONDŘEJ PECH		KOLÍK																																																										
	Schválil		Číslo dokumentu																																																										
	Datum vydání 2016-03-09		BP-163013-04																																																										
						List /																																																							
	1	2	3	4	5	6	7	8																																																					